

MERENTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISU
HAVSFORSKNINGSINSTITUTETS SKRIFT

N:o 222



MERITIETEEN TEHTÄVISTÄ

(English Summary: The Objects of Oceanography)

HELSINKI 1967 HELSINGFORS

MERITIETEEN TEHTÄVISTÄ

(English Summary: The Objects of Oceanography)



HELSINKI 1967 HELSINGFORS

MERITIETEEN TEHTÄVISTÄ

Tämä julkaisu perustuu tutkielmaan »General Scientific Framework for World Ocean Study», jonka ovat laatineet Tieteellisten unionien kansainvälisen neuvoston (ICSU) Merentutkimuksen tieteellisen komitean (SCOR) eräät jäsenet amerikkalaisen professori Roger Revellen johdolla. Tutkielma on laadittu tilauksesta Unescon alaisena toimivalle Hallitustenväliselle meritieteelliselle komissiolle (IOC) käytettäväksi vapaasti eri maissa merentutkimustyön uudelleenorganisointiin ja tehostamiseen liittyvien toimenpiteiden yhteydessä.

Alkuperäisen laajan tutkielman eräät luvut ovat yleistajuisia ja sellaisinaan käyttökelpoisia, kun taas joillakin muilla luvuilla on muuten erityinen mielenkiintonsa myös suomalaisille lukijoille. Näin valitut luvut ilmestyvät seuraavassa suomeksi erityisesti Suomen oloja silmälläpitäen toimitettuina.

Ilmo Hela

SISÄLLYS

1.	Merentutkimus tieteenä	7
1.1.	Millaisia ovat meret	8
1.1.1.	Vesien liikunnot	8
1.1.2.	Elämän muodot meressä	9
1.1.3.	Maankuori meren alla	9
1.2.	Merien kuvaaminen	10
1.2.1.	Nykyisen tietämyksemme epätäydellisyys	10
1.2.2.	Havainnot ja mittaaminen	11
1.2.3.	Kuvaustemme täytyy olla abstrakteja	12
1.3.	Ymmärtämisen tarve	13
1.4.	Miksi on aiheellista tutkia meriä	13
2.	Kansainvälinen meritieteellinen yhteistyö	15
2.1.	Kansainvälisen yhteistyön muodot	15
2.1.1.	Huonosti tunnettujen merialueiden tutkiminen	16
2.1.2.	Tutkimusmenetelmien vertailu	16
2.1.3.	Ilmakehän ja meren vuorovaikutuksen synoptiset tutkimukset	17
2.1.4.	Merinpinnan korkeuden vaihteluiden selvittäminen	17
2.1.5.	Merien biologiset »väestönlaskennat»	17
2.1.6.	Rajoitetuilla alueilla esiintyvien erityisilmiöiden tutkimus	18
2.1.7.	Merinpohjan kartoitus	18
2.1.8.	Havaintotulosten vaihdon järjestely	19
2.1.9.	Ajatusten ja kokemusten vaihto yksityisten tutkijain kesken	20
2.2.	Muita tuloksia kansainvälisestä meritieteellisestä yhteistyöstä	20
2.3.	Tulevaisuus	21
3.	Meritieteellisestä tutkimuksesta saatava taloudellinen hyöty	23
3.1.	Merien satoa	24
3.1.1.	Merentutkimuksesta kalastukselle koituva hyöty	25
3.1.2.	Riittämättömästi käytetyt kalakannat	26
3.1.3.	Pyyntikustannusten alentaminen	26
3.1.4.	Merien fysikaalisten olojen vaikutukset kalastoon	27
3.1.5.	Saaliinvaihtelut, joiden syitä ei ymmärretä	29
3.1.6.	Merioloja koskevan tietämyksen tarve	30
3.1.7.	Kalojen alueellisen jakautuneisuuden tutkiminen	32
3.1.8.	Yksinkertaiset meritieteelliset työkalut	33
3.1.9.	Merien laiduntaminen	34

3.2.	Meren muut hyödykkeet	35
3.2.1.	Liuenneet aineet	35
3.2.2.	Syvänmeren pohjalle kerrostuneet lietteet ja nodulit	36
3.2.3.	Mannerhyllyn kerrostumat	38
3.3.	Pitkäaikaiset sääennusteet	39
3.4.	Meret kulkuväylinä	43
3.4.1.	Laivanrakennus	44
3.4.2.	Minimiaikaa vastaavat reitit; myrskyvahinkojen supistaminen	45
3.4.3.	Merenkulku ja karilleajot	46
3.4.4.	Satamalaitteet	47
3.4.5.	Tarttuvien ja porautuvien merieliöiden aiheuttamien vahinkojen supistaminen	48
3.5.	Kansanterveys ja hyvinvointi	50
3.6.	Ihminen muuttaa meriveden koostumusta	52

1. MERENTUTKIMUS TIETEENÄ

Merentutkimus eli meritiede, oseanografia on maapallon meriveden peittämien osien tieteellistä tutkimusta. Sen päämääränä on lisätä tietämystämme meristä joka suhteessa: meren veden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä, meressä asustavista eliöistä, meren ja sen yläpuolella olevan ilman välisestä vuorovaikutuksesta, meren ja sen alapuolella — ja rannoilla — olevan kiinteän maan välisestä vuorovaikutuksesta, meren altain muodoista ja rakenteesta. Koska maapallon pinnasta on merien peitossa 71 prosenttia, meritiede on planetaarinen tiede, geotiede, joka monessakin mielessä kohdistuu koko maapalloon. Yksi sen suurista kysymyksistä onkin, miksi juuri maapallolla on suuret määrät nestemäistä vettä toisin kuin aurinkokuntamme muilla planeetoilla.

Toisin kuin fysiikka, joka tutkii ainetta sen kaikissa muodoissaan, tai kemia, joka tutkii aineen molekulaarista koostumusta, oseanografia ei ole universaalinen tiede. Fysiikan lait pitävät periaatteessa paikkansa kaikkialla ja joka hetki. Kemistin keksinnöt ovat päteviä kaikkialla, missä ja milloin molekyyliä voivat olla olemassa. Oseanografia sen sijaan on fysiikan, kemian, biologian ja matematiikan soveltamista paikallisestikin rajoitettuun kohteeseen, planeettamme meriin. Tässä mielessä merentutkimus liittyy myös tähtitieteeseen, joka tarkastelee maapallomme ulkopuolella olevia kappaleita, sekä geologiaan, joka kohdistaa päähuomionsa maapallon kiinteään ulkokuoreen. Yhteistä on myös se, että näiden tieteiden tarkastelun kohteiden nykytila suureksi osaksi määräytyy etäisen muinaisuuden tapahtumista. Meritiedettä ei kiinnostaakaan ainoastaan nykyisyys vaan myös se, millaisia meret ja niiden kasvit ja eläimet olivat ennen.

Fyysikko voi rakentaa itselleen oman maailmansa suorittamalla laboratorio-kokeensa kontrolloiduissa oloissa. Sovelletun matematiikan harjoittaja voi tarkastella kuviteltujen nesteiden käyttäytymistä. Mutta tähtitieteilijä kaukoputkineen, geologi suurennuslaseineen ja merentutkija laivallaan tarkastelevat maailmaa sellaisena, kuin se todellisuudessa on olemassa. Fyysikolle ja matemaatikolle on olemassa erilaisia kuviteltuja meriä. Oseanografille meri on todellisuus, maapallon merien laaja ja monitahoinen ykseys pitkin ja vaikeasti tulkittavine, vaihtelevine historioineen.

Merentutkija esittää olettamuksensa merestä usein matemaattisten analyysien ja laboratoriokokeiden avulla. Näiden hypoteesien pätevyys on tarkistettavissa ainoastaan todellisesta merestä suoritettujen havaintojen avulla. Oseanografia onkin tästä syystä merellä tehtyä tiedettä.

Meritiede sai alkusysäyksensä toista vuosisataa sitten merenkulun ja merikalastuksen tarpeista, toisin sanoen puhtaan käytännön sanelemista vaatimuksista. Meritie-

teen kehittyessä välittömät käytännölliset päämäärät siirtyivät tutkijain mielessä takalalle, sillä huomattiin nopeasti, että käytännönkään ongelmille ei löydetä päteviä, luotettavia ratkaisuja, ennenkuin on selvitetty monet puhtaasti tieteelliset perusongelmat. Yhä useammat tutkijat alkoivat pitää juuri näitä tieteellisiä probleemoja — niiden näennäisestä epäkäytännöllisyydestä huolimatta taikka kenties juuri tästä syystä — ainoina todellisina ongelmina.

Varsinainen kehitys on kuitenkin perustunut juuri noiden »epäkäytännöllisten» ongelmien tutkimiseen. Tieteen todelliset edistysaskeleet perustuvat yleensäkin tieteenharjoittajien puhtaasti tieteelliseen uteliaisuuteen, heidän menestyksellisiin yrityksiinsä selvittää ilmiöitä ja näiden syitä, ilman että näiden selvitysten mahdollinen hyödyllisyys ja taloudellinen merkitys olisi heidän mielessään.

Meriin kohdistunut pyyteeton, »puhdas» tutkimus tuottaa juuri näinä vuosina yhä moninaisempaa taloudellista hyötyä. Onkin paikallaan tähdentää meritieteen tätäkin puolta, vaikka tällainen tieteen käytännöllisen merkityksen mainostus onkin tieteenharjoittajille vierasta. Tämä on suorastaan välttämätöntä, koska tieteenharjoitus yleensäkin on tullut yhä kalliimmaksi ja kun se tästäkin syystä on kaikissa maissa yhä täydellisemmin siirtynyt valtiovallan rahoitukseen.

1.1. Millaisia ovat meret

1.1.1. *Vesien liikkeet*

Meret eivät milloinkaan asetu lepotilaan; meriveden jokainen pisara on jatkuvassa liikkeessä. Nämä liikkeet kuuluvat moniin eri tyypeihin merenpinnan alati vaihtuvista aalloista meren vesirungon syvien kerrosten hitaisiin virtailuihin, suurista merivirroista, kuten läntisen Atlantin Golfvirrasta ja Japanin luona virtaavasta Kurošivosta eli Mustasta virrasta jokisuiden ja satamien vuolaisiin vuorovesivirtauksiin. Suuri osa näistä liikunnoista on pyörteistä ja epäsäännöllistä muistuttaen hitaasti ajelehtivan savun liikkeitä. Tästä huolimatta vesiosaset aina kulkevat lähes vaakasuoria ratoja myöten, koska planetaarisessa mittakaavassa katsottuna meret ovat vain kuin ohut kostea kalvo maapallon pinnalla. Lisäksi tämä merikalvo on koostunut useasta vielä ohuemmasta kalvosta, joiden vedet eivät tiheyserojensa vuoksi juuri sekoitu toisiinsa.

Joku saattaisi otaksua, että meren vesien jatkuvista liikkeistä seuraisi täydellisen sekoittumisen tila, jossa meret olisivat kaikkialla aivan samanlaiset. Todellisuudessa näin ei ole asianlaita. Muut ilmiöt aiheuttavat vesimassojen välisiä eroavuuksia, joita sitten vielä meren vesirungon kerroksellinen rakenne pitää yllä. Kun luotaamme merta Havaijin lähistöllä, löydämme trooppisten pintavesien alta parin kilometrin syvyydestä melkein jääkylmää vettä. Nämä ominaisuutensa tuo vesi on saanut Etelänapamantereen lähistöllä ennen vajoamistaan nykyiseen syvyyteensä kenties tuhansia vuosia sitten, mistä lähtien se on säilyttänyt antarktisen lämpötilansa virratessaan hiljalleen kohti pohjoista Tyynä valtamerä.

1.1.2. *Elämän muodot meressä*

Meriveden ominaisuuksien erilaisuudet heijastuvat myös meren eri osien tuottavuuden erilaisuutena. Tyynessä valtameressä Perun rannikolla on yli 100 km levyinen, puolentoista tuhannen kilometrin pituinen vyöhyke, joka tuottavuudessaan on Ukrainan mustan mullan veroinen vihreä, pysyvä laidunmaa. Pohjoisen Atlantin ja pohjoisen Tyynen valtameren keskisissä altaissa taas veden sininen tai hiukan punertavansininen väri ja läpikuultavuus osoittavat alueet meren »autiomaiksi», lähes yhtä karuiksi kuin Sahara.

Meri muodostaa eliöille suotuisan fysikaalisen ympäristön; maapallon elämä sai alkunsa todennäköisesti matalissa merissä noin kaksi miljardia vuotta sitten. Nykyisin kansoittavat meriä sadat tuhannet eri lajit valtameren ulapoiden mikroskooppisen pienistä levistä ja matalien vesien kasveista, jotka muodostavat merien ravintobiologisen tuotantoketjun perustan, aina jättiläismäisiin valaihin, suurimpiin maapallolla milloinkaan eläineisiin eläimiin saakka. Näiden äärimmäisyyksien välillä on monimutkainen ravintoketju taikka paremminkin -kudos, jossa useimmat eläimet ovat samaan aikaan sekä saaliin että saalistajan asemassa ja jossa kaiken elämän viimeisenä vaiheena on joutuminen bakteerien hajoitettavaksi. Elämä meressä on ensi sijassa säälimätöntä ravinnon etsimistä ja epätoivoista vihollisten välttämistä. Tosin eräät katkaravut ja pikkukalat ovat saaneet aikaan järjestetyn palveluvuorottelun: katkaravut saavat ravintonsa kalojen avulla uimalla näiden suihin sekä kidusrakojen lävitse ja syömällä sinne jääneet, tauteja aiheuttavat ruoantähteet sekä loiset!

Aristoteleen ajoista lähtien meren elämän muotojen ihmeellinen moninaisuus on kiehtonut biologeja. Meren eliöiden fysiologian, elinvaiheiden, levinneisyyden, käyttäytymisen ja kehityksen tutkiminen ovat biologian klassillisia toimintakenttiä. Juuri nyt, kun kaikkialla maapallolla kalastus laajenee ja tehostuu arvaamattoman nopeasti, biologisen tietämyksen tarve on suurempi kuin milloinkaan aikaisemmin.

1.1.3. *Maankuori meren alla*

Ehkä hämmästyttävien meriin liittyvä tosiasia on niiden olemassaolo sinänsä, toisin sanoen se, että maapallon pinnassa on altaat meriä varten ja että valtavat vesimäärät ovat kerääntyneet näihin laskeumiin. Kolmisen vuosikymmentä sitten useimmat geologit pitivät nykyisiä meriä ja mantereita maapallon pinnan pysyvinä piirteinä; he olettivat niiden pysyneen suunnilleen muuttumattomina alkaen ajankohdasta, joka oli varhaisempi kuin kallioiden antamat vanhimmatkin tiedot maapallon geologisesta historiasta, aina nykyaikaan saakka. Tämän mukavan opinkappaleen avulla saatettiin kysymys merien ja mantereiden alkuperästä karkottaa tieteellisen tutkimuksen alueelta spekulatioiden piiriin. Yleisesti uskottiin, että valtameren pohja oli piirteetöntä, mielenkiinnottomaa tasankoa, jota peitti vuosimiljardien aikana hitaasti mutta jatkuvasti syntynyt paksu lietematto.

Kahden viime vuosikymmenen aikana on tätä käsitystä täytynyt muuttaa jyrkästi. Vaikka tietämyksemme edelleenkin on epätäydellinen, olemme oppineet riittävästi ymmärtääksemme, että merien pohjan topografia on hyvin vaihteleva sekä suur- että pienmuotojen osalta ja että tämä vaihtelevuus johtuu merien pitkästä ja vaihtelevasta geologisesta historiasta. Nyt uskomme, että meren altaiden ja niitä täyttävän veden olemassaolo liittyy läheisesti maapallon uloimpien kerrosten rakenteeseen; valtamerien historiaa ei voida erottaa koko maapallon geologisesta historiasta.

Syvänmeren lietteiden ja kalliopohjan tutkiminen on johtanut uusiin, vallankumouksellisiin käsityksiin maapallon historiasta. Maapallon kuori on ohuin valtamerien alla, mistä syystä kuoren alla olevaa maapallon vaippaa, joka käsittää suurimman osan planeettamme massasta ja joka sulkee sisäänsä maapallon »nestemäisen» ytimen, onkin helpompi tutkia merellä kuin maalla. Kartoittamalla merenpohjan muodot, mittaamalla painovoiman, magneettisen kentän ja maan sisästä tulevan lämmönvuon alueelliset eroavuudet ja määrittämällä erilaisten kivilajien akustiset ominaisuudet alamme ymmärtää tapahtumia, joiden puitteissa mantereet ovat muuttuneet ja meren altaat muodostuneet. Eräät geologit uskovat, että meren alla olevat vaippakalliot »kirnuutuvat» hitaasti suurina lieriömäisinä pyörinä, joiden halkaisijat saattavat olla tuhansia kilometrejä. Eräät toiset taas arvelevat, että planeettamme elinaikana merenalainen kalliokuori on uusiutunut useita kertoja jättiläismaisten tulivuorenpurkausten yhteydessä.

Näiden ajatusten todisteeksi on voitu esittää vain epäsuoria ja epävarmoja päätelmiä. Lisäksi on huomattava, että toistaiseksi vanhimmatkin syvänmeren pohjalta saadut kivi- ja lietenäytteet ovat vain 100 miljoonan vuoden ikäiset. Ja kuitenkin tuo ajanjakso on oletettavasti vain murto-osa siitä ajasta, jonka meret ja mantereet ovat olleet olemassa.

Toistaiseksi on voitu määrittää merenpohjan lietematon alla olevasta kuorikalliosta vain niitä ominaisuuksia, jotka ovat määritettävissä kaukaa. Mutta lähimpien vuosikymmenien aikana voidaan jokseenkin varmasti porata reikiä merenpohjan lietematon lävitse kuorikallioon asti ja näin saada näytteitä välitöntä tarkastelua ja laboratoriotutkimuksia varten. Nämä kairausnäytteet antavat aikanaan aivan uuden näkemyksen meren alla olevasta maankuoresta. Ehkä silloin on mahdollista pidentää maapallon tulkittua historiaa taaksepäin aikaan, jolloin meret ja koko maapallo olivat nuoret, ehkäpä aina niihin aikoihin asti, jolloin elämä syntyi merien rantavesissä.

1.2. Merien kuvaaminen

1.2.1. *Nykyisen tietämyksemme epätäydellisyys*

Jokaisen todellista maailmaa tarkastelevan tieteenhaaran on aloitettava työnsä suorittamalla tarkastelun kohteena olevan maailman kuvaaminen. Meritieteessä ei edes tätäkään työvaihetta ole vielä suoritettu läheskään täydellisesti. Valtamerien poh-

jan muotoja esittävät kartat ovat nykyisin suunnilleen yhtä epätarkat kuin mantee-
tereista noin 250 vuotta sitten julkaistut kartat. Vaikka yleensä tiedämmekin suurten
merivirtojen keskimääräisen suunnan merenpinnan lähellä ja niissä liikkuvien vesi-
määrien suuruudet, emme pysty kuvailemaan näiden virtojen vuodenaikaisvaihte-
luita emmekä muutoksia vuodesta toiseen. Tiedämme Golfvirran muistuttavan valta-
meren pinnalla virtaavaa, uomaansa muuntelevaa jokea, joka polveilee liikkuvien
meanderien tapaan, joka ajoittain laajenee suvannoiksi ja ajoittain kuristuu vuolaaksi
virraksi ja jonka nopeus ja suunta siis vaihtelevat. Mutta emme osaa sanoa, missä
Golfvirta oli viisi vuotta sitten jonakin tiettyä iltapäivänä. Tässä suhteessa meritie-
teen sisartiede, ilmatiede on paljon edellä meritiedettä: meteorologit piirtävät kartoil-
leen joka päivä koko pohjoisen pallonpuoliskon tuulien suunnan ja nopeuden jakau-
tumisen.

Merivirroista syvemmällä vesirungossa tiedämme yleensä vain häviävän vähän.
Tosin tiedämme suoranaisten mittausten perusteella, että Tyynellä valtamerellä päi-
vääntasaajan kohdalla länteen menevän tasaajanvirran alla kulkee itään ohut mutta
leveä virtaus parin, kolmen solmun vauhdilla. Muualla suoritettut mittaukset osoitta-
vat, että samanlaisia ja jopa yhtä nopeita virtauksia esiintyy muuallakin pintavirtausten
alapuolella. Mutta kukaan ei tiedä mitään näiden virtausten pysyvyydestä eikä siitä,
paljonko vettä niissä liikkuu johonkin tiettyyn suuntaan jonakin tiettyä ajankohtana,
eikä siitä, millä tavalla niiden suunta ja nopeus vaihtelevat.

Noin vuosisadan ajan on pyydetty, kuvattu ja luokiteltu tuhansia kala- ja muita
merieläinlajeja. Tästä huolimatta löydetään uusia lajeja lähes joka kerta, kun jokin
tutkimusalue vierailee eteläisen pallonpuoliskon huonosti tutkituilla vesillä taikka
laskee laahusnuotan 2 000 metrin syvyyteen tunnetuimmillakin merialueilla, esimer-
kiksi Tyynen valtameren pohjoisosassa. Olemme jokseenkin varmat, että monia
syvänveden eliöitä ei nykyisillä laitteilla onnistuta saamaan milloinkaan. Kalastajat
ovat pyytäneet meren viljaa jo vuosituhansien ajan, mutta kukaan ei pysty vielä
tänäänkään edes suuruusluokan tarkkuudella ilmoittamaan, montako kalaa elää maail-
man merissä.

1.2.2. Havainnot ja mittaaminen

Voidaksemme kuvata meriä on niitä havaittava ja mitattava. Tämä ei ole lainkaan
niin helppoa, kuin miltä se saattaa kuulostaa. Joka kerrankin on tehnyt matkan
meritse tai rannalta katsellut meren aaltoilua, ymmärtää meren pinnan lähes läpäise-
mättömäksi. Näkyvä valo tunkeutuu meriveteen vain lyhyen matkan, minkä jälkeen
se on jo niin hajaantunut ja sammunut, ettei sen avulla vedessä olevia esineitä enää
voi nähdä. Ihmisen aikaansaamista energiamuodoista ainoastaan ääni etenee meri-
vedessä pitemmän matkan kuin ilmassa. Mutta liikkuaan vedessä ääniaallot tavalli-
sesti taittuvat ja vääristyvät pahoin, joten meri kaikuu ääniä kuin huonosti suunni-
teltu luentosali.

Vaikka ihmisen veren suolaisuus viittaakin siihen, että kaukaiset esi-isämme olivat meren asukkeja, ihminen kuuluu lajina maaeläimün. Hän voi tunkeutua meren syvyyksiin vain varustettuna monimutkaisin laittein, jotka takaavat hänelle suojan painetta vastaan ja turvaavat hänelle hapen jatkuvan saannin. Veden alla käytettävien hengityslaitteiden keksiminen toisen maailmansodan aikana on tehnyt mahdolliseksi sekä tiedemiesten että maallikoitten tunkeutumisen lyhyiksi hetkiksi vedenalaisen maailman ylimpiin kerroksiin. Jokainen on nähnyt valokuvia, jotka on otettu näiden vesikerrosten ihmeistä. Aniharvat tutkijat ovat voineet laskeutua batyskafeiksi kutsutuilla, vapaasti leijuvilla vedenalaisilla »ilmapalloilla» merien syvyyksiin, vieläpä valtamerten syvimpiin hautoihin. Toiset ovat käyneet vähäisemmissä syvyyksissä sukellusveneillä ja näitä vastaavilla laitteilla. Vaikka näin kerätty tieteellinen havaintoaineisto on osoittautunut valitettavan laihaksi, siltä edelleen odotetaan paljon tulevaisuudessa. Tästä huolimatta täytyy vielä nykyisinkin suorittaa lähes kaikki vedenpinnan alaiset mittaukset pinta-aluksilta automaattisesti toimivia tai kauko-ohjattavia laitteita käyttäen. Tästä johtuen on meristä saamamme kuva suunnilleen vastaavanlainen, kuin minkä saisimme mantereista kulkemalla ilmapallolla niitä peittävän pilvikaton yläpuolella.

Seurauksena edistysaskeleista elektroniikkaan liittyvillä aloilla myös meritieteelliset kohteet ovat kehittyneet nopeasti viime 20 vuoden aikana. Nykyisin voidaan suorittaa monenlaisia mittauksia, joita vielä ennen toista maailmansotaa olisi pidetty mahdottomina. Eräiden mittaustulosten määrä kasvaa hyvin nopeasti; eräissä tapauksissa niiden käsittely ja tulosten hyväksikäyttö on mahdollista vain suurten tietokoneiden avulla.

1.2.3. Kivaustemme täytyy olla abstrakteja

Monet nykyisin käytössä olevat laitteet mittaavat käytännöllisesti katsoen jatkuvasti jotakin tai joitakin muuttujia tarkoitukseen valitussa paikassa. Toisaalta mittauspisteiden välimatka on käytännöllisistä syistä kuitenkin aina hyvin suuri verrattuna meren tapahtumien monimutkaiseen luonteeseen. Olemme joutuneet tieteellisen kuvauksen peruspulman eteen. Tarkastelimme yksinäisen puun taikka kokonaisen valtameren hetkellistä tilaa, tutkimuskohteemme täydellinen kuvaus täyttäisi niin monta nidettä, että teoksesta muodostuisi itse kohdetta laajempi esitys, joka ei enää olisi mielekäs. Vaikeutemme kasvavat entisestäänkin, jos tarkastellaan puuta tai valtamerta alati muuttavana kohteena.

Tutkimuskohteen mielekäs kuvaus edellyttääkin, että kuvaus on käsitteellinen, varsinaisesta kohteesta yksinkertaistettu malli. Sen avulla on voitava laajentaa tietämystämme joistakin riippuvuussuhteista. Verkkoansa laskevan kalastajan tapaan myös merenpinnan alla mittauksiaan suorittava merentutkija toivoo saavansa saaliikseen vain ne ilmiöt, jotka ovat riittävän suuret tarttuaan hänen havaintoverkonsa silmiin.

1.3. Ymmärtämisen tarve

Kunakin tieteenhaaran on pystyttävä enempäänkin kuin vain tutkimuskohteiden kuvaamiseen, jotta se voitaisiin hyväksyä tieteen laajaan kenttään: tärkeimpänä päämääränä täytyy olla ymmärtäminen, toisin sanoen ilmiöiden välisten riippuvuussuhteiden löytäminen. Ei riitä, että kartoitetaan Golfvirran paikka ja mitataan sen nopeus. Haluamme tietää, mitkä voimat panevat veden liikkeelle ja mitkä voimat pyrkivät estämään veden liikkumista. Vaikka käytettävissämme olisi merenpohjan pinnanmuodostuksen luotettava, yksityiskohtainen kartta, täytyisi meidän lisäksi tuntea ne prosessit, jotka syvältä maan sisustasta käsin ovat muovanneet planeettamme pinnan juuri sellaiseksi, että siinä on altaat merille ja mannerten massat. Varmasti vielä sadankin vuoden kuluttua löydetään ennestään tuntemattomia eläinlajeja merien vähimmin tutkituilta alueilta. Mutta on paljon mielenkiintoisempaa selvittää, miksi merissä on niin monia eläinlajeja. Mitkä ovat merieläinten suhteet ympäristöönsä? Ja toisiinsa? Mitkä seikat tekevät meren erälle eliölle mahdolliseksi keskinäisen tasapainoisen rinnakkaiselon riippumatta niiden muodosta, koosta ja käyttäytymisestä? Vaikka pystyisimmekin tarkasti laskemaan meren kalojen lukumäärän, kalastajat haluaisivat lisäksi tietää, miten monta kalaa he voivat vuosittain kalastaa aiheuttamatta silti kantojen pysyvää vähenemistä. Vastaminen tähän kysymykseen edellyttää muun muassa niiden tapahtumien ymmärtämistä, jotka tekevät meren eräistä osista hedelmällisiä laidunmaita ja eräistä toisista osista lähes hedelmättömiä »autiomaita». Se edellyttää myös niiden riippuvuussuhteiden ymmärtämistä, mitkä vallitsevat meren kasvien suorittaman orgaanisen aineen tuotannon ja kalojen ravinnon määrän välillä.

1.4. Miksi on aiheellista tutkia meriä

Miksi haluamme tutkia meriä? Tähän on monta ns. käytännöllistä syytä, sillä meret ovat monilla eri tavoilla hyödylliset ihmiselle.

Voitaneen olettaa, että tulevaisuudenkin meritalouden tärkein tai ainakin eräs tärkeimmistä toimintamuodoista perustuu meristä saatavaan proteiinipitoiseen ravintoon. Nykyisin kärsii kaksi kolmannesta ihmiskunnasta joko vakavia tai lieviä puutostauteja seurauksena ravinnon yksipuolisuudesta, toisin sanoen eläinproteiinien puutteesta. Tämä on erityisen haitallista lapsille, koska se estää heidän fyysistä ja henkistä kehitystään. Se vähentää myös aikuisten elinvoimaa ja lyhentää heidän elinikäänsä. Maapallon nykyisen väestön tarvitseman eläinproteiinin vaje olisi täytettävissä suurentamalla kalastuksen vuosituotosta noin 30 prosentilla eli 41 miljoonasta tonnista 53 miljoonaan tonniin. Jos ei onnistuta kehittämään muita sopivia eläinproteiinien lähteitä, kalastuksen tuotos on saatava viimeistään 25 vuoden kuluessa kaksinkertaistetuksi, jotta pystyttäisiin tasoissa ihmiskunnan kasvun kanssa. Ei ole suinkaan selvää, että tämä kaksinkertaistaminen on toteutettavissa. Aivan varmaa on kuitenkin, että tuota päämäärää ei voida saavuttaa, ilman että tietämystämme meristä ja niissä elävistä kasveista ja eläimistä laajennetaan aivan olennaisesti. Kalastuksen

kokonaistuotoksen kaksinkertaistamisen rahallinen arvo vastaisi useita miljardeja dollareita vuodessa. Kaksinkertaistamisen välttämättömästi edellyttämä tutkimustyö tulisi maksamaan vain eräitä satoja miljoonia dollareita vuodessa.

Useinmissa maissa valtiovalta onkin juuri viime vuosina laajentanut merentutkimustyötä. Syinä tähän ovat olleet ennen kaikkea proteiinipitoisen ravinnon tarve, kansalliset puolustuskäsitteet sekä sään vaihteluita ja ilmastoa koskevan tietämyksen laajeneva tarve. Mutta ihminen tuntee tarvetta saavuttaa uutta tietoa myös tiedon itsensä vuoksi. Merentutkijoiden työn liikkeellepanevana voimana on ennestään täysin tuntemattoman totuuden oivaltamisen ja keksimisen pyyteetön tarve. He tuntevat aivan erityistä tyydytystä onnistuessaan sovittamaan uuden tietämyksen muruset yhtenäisiksi, loogisiksi esityksiksi, jotka sisältävät aikaisemmin ymmärtämättä jäänyttä tietoa.

Oman maamme pitkästä rantaviivasta huolimatta me suomalaiset olemme asenteitamme monessakin mielessä tyypillisiä sisämaan asukkaita. Ja kuitenkin meille kerrotaan jo koulussa, että ilmastomme leutous johtuu Golfvirrasta ja Atlantin läheisyydestä. Ulkomaankauppamme pääosa ja jopa kesäisen matkailummekin valtaosa kulkee meritse. Näin ollen onkin paikallaan tarkastella merien tutkimuksen nykyisiä tehtäviä eritoten niiden käytännöllisen ja taloudellisen merkityksen kannalta.

2. KANSAINVÄLINEN MERITIETEELLINEN YHTEISTYÖ

Kaikki ihmiset hengittävät samaa ilmaa. Pohjois-Euroopan alueella raivoava myrsky on saattanut syntyä Floridan rannikolla. Aivan vastaavasti myös merien vedet ovat jakamattomat; merien jossakin osassa esiintyvistä ilmiöistä saattaa olla syvällisiä seurauksia hyvinkin kaukana olevilla merialueilla. Merien tieteellinen tutkimus soveltuukin tästä syystä kansainvälisen yhteistyön kohteeksi mitä parhaiten. Tällainen yhteistyö on jopa suoranaisena edellytyksenä sille, että meriä koskeva tietämyksemme kasvaisi yhtä nopeasti kuin tämän tietämyksen tarve. Aavaa merta ei omista yksikään ihminen eikä mikään kansakunta, ja kuitenkin sitä käyttävät hyvin monet ihmiset ja kansat hyväkseen.

Tieteen kansainvälinen yhteistyö ei sellaisenaan ole mikään päämäärä vaan ainoastaan keino tiettyjen päämäärien saavuttamiseksi. Siihen pitäisi ryhtyä vain silloin, kun siitä koituvan tieteellisen, poliittisen ja taloudellisen hyödyn summa muodostuu kustannuksia suuremmaksi. Mainittuja hyötypäämääriä ei käytännössä voida erottaa toisistaan. Tosin tieteellinen yhteistyö ei voi olla tehokasta missään suhteessa, ellei se perustu aitoon tieteeseen. Mutta ei voida olettaa minkään valtiovallan yleensä haluan tukea sitä, jollei se — tieteellisten päämäärien ohessa — edistä myös taloudellisia ja poliittisia tarkoituksia.

2.1. Kansainvälisen yhteistyön muodot

Viime 15 vuoden kokemukset osoittavat, että maailman merien tutkimista voidaan edistää kansainvälisen yhteistyön avulla varsinkin seuraavien tehtävien puitteissa:

- huonosti tunnettujen merialueiden tutkiminen,
- tutkimusmenetelmien vertailu,
- ilmakehän ja meren vuorovaikutuksen synoptiset tutkimukset,
- merenpinnan korkeuden vaihteluiden selvittäminen,
- merien biologiset »väestönlaskennat»,
- rajoitetuilla alueilla esiintyvien erityisilmiöiden tutkimus,
- merenpohjan kartoitus,
- havaintotulosten vaihdon järjestely sekä
- ajatusten ja kokemusten vaihto yksityisten tutkijain kesken.

2.1.1. Huonosti tunnettujen merialueiden tutkiminen

Parhaina esimerkkeinä siitä, miten kansainvälinen yhteistyö johtaa huonosti tunnettujen merialueiden tehokkaaseen tutkimukseen, voidaan mainita Intian valtameren kansainvälinen tutkimus (International Indian Ocean Expedition, IIOE) sekä Trooppisen Atlantin kansainväliset tutkimukset (International Cooperative Investigations of the Tropical Atlantic, ICITA). Vastaavasti voidaan nopeuttaa tutkimusta myös Pohjoisella jäämerellä, eteläisellä Atlantilla ja eteläisellä Tyynellä valtamerellä. Tällaisen meritieteellisen yhteistyön merkitys tosin vähenee sitä mukaa kuin merien deskriptiivisen, kuvailevan tutkimuksen vaiheen voidaan katsoa päättyvän. Tästä huolimatta on syytä tähdentää, että maailman merillä on edelleenkin hyvin laajoja alueita, joiden vedet, niissä asustavat eliöt ja niiden alla oleva merenpohja tunnetaan vain hyvin puutteellisesti. Eräät tutkimus- ja mittausalukset tosin ovat kulkeneet noidenkin alueiden kautta ja samalla keränneet tietoja niiden eläimistöstä, kasvistosta ja merenpohjan topografian pääpiirteistä. Mutta noilla syrjäisillä alueilla on tuskin lainkaan käytetty meritieteen uusia, tehokkaita työkaluja. Useiden kansakuntien varustamien nykyaikaisten merentutkimusalusten organisoitu yhteiskäyttö noilla tuntemattomilla vesillä tuottaisi erinomaisia tuloksia.

2.1.2. Tutkimusmenetelmien vertailu

Jotta kyettäisiin kartoittamaan merien fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien jakautuminen, meren populaatiot ja merenpohjan olennaiset piirteet, täytyy päästä varmuuteen siitä, että eri maissa ja eri laboratorioissa käytettyjen mittausmenetelmien tulokset ovat keskenään vertailukelpoiset. On päästävä kansainväliseen yhteisymmärrykseen siitä, mitä kussakin tapauksessa mitataan, sekä myös siitä, millä tarkkuudella mittaukset on suoritettava. Seuraavat kaksi esimerkkiä riittävät osoittamaan tämän seikan tarpeellisuuden.

Yritettäessä määrittää merien kasvipigmenttipitoisuutta on kunkin käytetyn menetelmän yhteydessä tiedettävä varmasti, mitä pigmenttejä ja missä suhteissa mitataan, miten paljon kutakin pigmenttiä liukenee meriveteen, miten suuri osa siitä pysyy merivedessä hiukkasina ja mikä on näiden hiukkasten koko.

Monien vuosien ajan merentutkijat luulivat, että meriveden liunneen hapen määrittäminen oli helpoimpia kemiallisia analyysejä, mitä merivedestä voidaan tehdä. Nyt osoittautuikin, että jopa saman maan eri laboratorioissa käytetyt menetelmät saattavat antaa samalle vedelle viisi, jopa kymmenen prosenttia toisistaan poikkeavia happipitoisuuden arvoja. Näiden rutiinimenetelmien tarkkuus on laivakäytössä ilmeisesti paljon aikaisemmin luultua vähäisempi. Emme vielä tiedä, kuinka paljon tulokset poikkeaisivat toisistaan, jos saman vesinäytteen happipitoisuus määritettäisiin yhdysvaltalaisella, neuvostoliittolaisella, australialaisella ja englantilaisella tutkimusaluksella.

2.1.3. Ilmakehän ja meren vuorovaikutuksen synoptiset tutkimukset

Suuri osa myrskyjen ja tuulien energiasta siirtyy merien kautta auringosta ilmakehään. Lämpimän merenpinnan kanssa kosketuksiin joutuva ilma sekä lämpiää että vie vesihöyryä mukanaan ylemmään ilmakehään. Kun kohoava ilma siihen kohdistuvan paineen aletessa laajenee, se jäähtyy ja siinä oleva vesihöyry tiivistyy, jolloin pölylevä haihtumislämpö vapautuu. Tällöin ilmakehän tiheyden jakautuminen häiriintyy jyrkästi. Ilmakehään joutuukin suunnattomat määrät energiaa juuri tämän mekanismin puitteissa, joka käsittää toisaalta haihtumisen merenpinnalla ja toisaalta vesihöyryn tiivistymisen korkeammalla ilmakehässä. Maapallon pyörimisestä aiheutuvien lisävaikutusten avulla tämä energia saa aikaan tropiikin hurrikaanit ja keskisten leveysasteiden syklonit.

Toisaalta juuri tuulet pitävät liikkeessä merien pintavirtauksia, joista osa on lämpimiä merivirtoja. Nämä ovat tärkeimpiä haihtumisen ja siis merestä ilmakehään tapahtuvan energiansiirtymisen alueita. Tällä tavalla meret ja ilmakehä ovat hyvin laajamittakaavaisessa vuorovaikutuksessa. Uusimmat meteorologiset tutkimukset osoittavat, että viikkojen ja jopa vuosien mittaiset vaihtelut pallonpuoliskon laajuisissa säätyypeissä liittyvät meren pintakerrosten lämpötilanjakautumisen muutoksiin. Näiden muutosten havaitseminen ja niistä johtuvien ilmakehän tapahtumien seuraaminen edellyttää samanaikaisia mittauksia monissa pisteissä valtamerenlaajuisilla merialueilla. Yksikään kansakunta ei yksinään voi sijoittaa tähän työhön riittävää määrää tutkimusalueita eikä merentutkijoita. Tehtävä on suoritettavissa vain monien maiden oseanografien ja meteorologien yhteistyön puitteissa.

2.1.4. Merenpinnan korkeuden vaihteluiden selvittäminen

Paitsi jo edellä mainittuja meren ja ilmakehän vuorovaikutuksen alaan kuuluvia tapahtumia monet muutkin merelliset ilmiöt esiintyvät valtameren taikka koko maapallon laajuisina. Esimerkkeinä näistä ovat vuorovedet sekä merenpinnan korkeuden vuodenaikaisvaihtelut ja muutokset vuodesta toiseen. Merenpinnan korkeuden vaihteluiden ymmärtämiseksi tarvitaan monien vuosien ajan jatkuvia vedenkorkeushavaintoja kaikilta meriltä, erityisesti myös sellaisilta seuduilta, missä vedenkorkeuden rekisteröintejä ei tavallisesti tarvita muihin tarkoituksiin. Vedenkorkeuden rekisteröinnit on suoritettava kiinteän vertailukorkeuden suhteen. Ne on tulkittava ilmanpaine- ja tuulihavaintojen sekä veden lämpötilan ja suolaisuuden vaihteluiden avulla. Maailmanlaajuisen havaintoasemaverkon kehittämiseksi ja luomiseksi tarvitaan kansainvälistä yhteistyötä.

2. 1. 5. Merien biologiset »väestönlaskennat»

Montako kalaa on meressä? Mikä on kantojen uusiutumisnopeus? Minkä painomäärän kutakin kalalajia meri tuottaa tietyssä ajassa?

Monet aavanmeren kalalajit ja selkärangattomat esiintyvät hyvin laajoilla alueilla. Eräät niistä suorittavat myös pitkiä vaelluksia. Niiden levinneisyys ja yleisyys vaih-

televat meriympäristössä tapahtuvien muutosten mukana. Näiden populaatioiden suuruuden ja levinneisyyden sekä niihin vaikuttavien tekijöiden tunteminen on tärkeätä valtamerikalastuksen kehittämiseksi ja suorastaan välttämätöntä kalakantojen järkevälle verotukselle, minkä täytyy tapahtua siten, että kannat säilyvät entisellään. Tämä on mahdollista vain maailman meribiologien kansainvälisellä, systemaattisella yhteistyöllä.

2.1.6. Rajoitetuilla alueilla esiintyvien erityisilmiöiden tutkimus

Merentutkijat kaikkialla maailmassa ovat kiinnostuneet tietyistä, rajoitetuilla alueilla esiintyvistä erityisilmiöistä. Näitä erityisilmiöitä esiintyy tietenkin usein jonkin maan rannikon läheisyydessä taikka suorastaan niiden alueella. Tästä sopivat esimerkiksi vaikkapa koralliriutat; tyypillisiä darwinilaisia koralliriuttoja tavataan vain Tyynen valtameren ja Intian valtameren trooppisissa osissa. Merien suurimmat syventeet, niin sanotut syvänmeren haudat ovat Tyynen valtameren länsiosassa Tongan ja Kermadecin saarten, Filippiinien, Japanin, Kuriilien saarten ja Guamin lähistöllä.

Valtamerien pohjois- ja eteläosien suurien merivirtapyörteiden vesimassat puristuvat valtamerien länsiosissa kapeiksi »suihkuvirtauksiksi». Parhaat esimerkit näistä ovat Golfvirta Yhdysvaltain itärannikolla ja Kurošivo Japanin itäpuolella. Vastavannalaiset virtaukset tavataan myös Filippiinien, Uuden Guinean, Brasilian ja Somalian rannikoilla. Näitä merien suihkuvirtauksia, jotka kiinnostavat kaikkia merentutkijoita, voidaan parhaiten tutkia yhteistyössä niiden äärellä asuvien tutkijoiden kanssa. Amerikkalaiset ovat ihanteellisessa asemassa Golfvirtaan nähden mutta huonossa asemassa Kurošivoon nähden. Japanilaisten kannalta asia on päinvastoin. Molempien merivirtojen kansainvälinen yhteistutkimus johtaisi mielenkiintoisiin vertailumahdollisuuksiin ja kenties hyvin huomattaviin tieteellisiin tuloksiin.

Tuulien ja merivirtojen monsuuniluonteinen vuodenaikaisjaksollisuus esiintyy selvimpänä Etelä-Kiinan merellä ja Intian valtamerellä. Niitä tutkimalla voitaneen selvittää muuttuvien merivirtojen ongelmaa yleisemminkin: mitä tuulien muutokset vaikuttavat merivirran kulkuun? Näitäkin kysymyksiä voidaan parhaiten tutkia yhteistyössä paikallisiin oloihin tottuneiden tutkijoiden kanssa.

The International Convention on the Continental Shelf — »mannerjalustaa» eli mannerhyllyä koskeva kansainvälinen sopimus — velvoittaa muualta tulevat merentutkijat pyytämään rannikkovaltiolta luvan ennen ryhtymistään tutkimuksiin tämän edustalla olevalla mannerhyllyllä. Valtiosopimuksen sanamuoto osoittaa, että rannikkovaltion pitäisi kulloinkin tällainen lupa myöntää, varsinkin jos sen omat tutkijat voivat osallistua suoritettavaan tutkimustyöhön.

2.1.7. Merenpohjan kartoitus

Merenpohjan järjestelmällisellä ja yksityiskohtaisella kartoituksella olisi suuren tieteellisen arvon lisäksi myös paljon muuta merkitystä. Kartoitustyön suoritus edel-

lyttäisi kuitenkin useiden kymmenien täydellisesti varustettujen mittausalusten monta vuotta jatkuvaa työskentelyä. Se edellyttäisi myös kaikille merille tarkkana ulottuvaa kansainvälistä paikanmäärittysverkkoa. Jos kaikki tämän suuren tehtävän tuloksista kiinnostuneet valtiot osallistuisivat siihen, kustannukset eivät muodostuisi yhdelläkään valtiolle yhtä suuriksi kuin erillään toimittaessa.

Pohjan topografian lisäksi on tärkeätä saada selvyyttä myös siitä, mitä on merenpohjan alla. Viime 15 vuoden aikana suoritetuilla seismisillä refraktiomittauksilla on saatu keräytyksi tietoja merenpohjan lietematon paksuudesta eri alueilla. Menetelmä antaa kuitenkin vain keskimääräisen paksuuden 50—100 kilometrin matkalla. Lisäksi tämä menetelmä on niin vaivalloinen käyttää, että sen avulla ei tästäkään syystä ainaakaan lähitulevaisuudessa voida saada aikaan lieterkerroksen paksuuden alueellista kartoitusta. Äskettäin kehitetty seisminen reflektiomenetelmä on aivan toista luokkaa, koska sitä voidaan käyttää muutaman solmun vauhdilla kulkevalta tutkimusalukselta jatkuvasti, jolloin saadaan jatkuva halkileikkaus-kuva lieterkerrostumista ja näiden paksuudesta. Menetelmää on jo käytetty parin sadan tuhannen kilometrin matkalla. Tällöin on todettu se hämmästyttävä seikka, että lieterkerrosten kokonaispaksuus vaihtelee hyvin paljon. Lietteen alla olevan kallion topografia näyttää hyvin rikkiinäiseltä, paikoitellen jopa vuoriselta. Lieteterroksen paksuuden suurille paikallisille vaihteluille ei nykyisen tietämyksemme perusteella vielä osata antaa tyydyttävää selitystä. Tuntemattomat prosessit ovat aiheuttaneet kallioperän epätasaisuuden. Toiset tekijät ovat säädelleet lietteen kerrostumista. Seismistä reflektiomenetelmää voitaisiin käyttää myös usealla tutkimusaluksella samanaikaisesti, jolloin voitaisiin tarkastella merenpohjan lieterkerroksen paksuuden ongelmaa maapallon laajuisena. Näin siis kansainvälinen toiminta tässäkin tapauksessa johtaisi uusiin tuloksiin.

Uusimmat kairausoperaatiot ovat osoittaneet mahdolliseksi suorittaa aavallakin merellä kairaus ja näytteenotto merenpohjan koko lieterkerroksen lävitse. Aavanmeren kairausohjelmat pitäisi ilmeisestikin suunnitella siten, että niistä osa tähtäisi seismisen reflektiomenetelmän osoittamien uusien ongelmien selvittämiseen. Lisäksi olisi tärkeätä suorittaa kunkin kairausnäytteen analysoiminen mahdollisimman nopeasti, jotta tuloksia voitaisiin käyttää yhdessä reflektiomenetelmän antamien tietojen kanssa jo seuraavaa kairauspaikkaa valittaessa. Näin tulisi taatuksi merten historiaa koskevan tietämyksemme nopea kasvu. Seismisen reflektiomenetelmän kansainvälinen yhteiskäyttö muodostaisi todella erinomaisen perustan valmistauduttaessa seuraavaan suureen harppaukseen planeettamme tutkimisessa, nimittäin näytteen ottamiseen kairaamalla koko sedimenttikerroksesta meren pohjalta.

2.1.8. Havaintotulosten vaihdon järjestely

Hydrodynaamikko, biologi, maantieteilijä, tietosanakirjan laatija ja monet muut tarvitsevat havaintotuloksia maailman- tai valtamerenlaajuisilta alueilta. Havaintotulosten täytyy olla kaikkien käytettävissä nopeasti, helposti ja halvalla. Maailman

havaintotuloskeskukset (World Data Center) osoittautuivat välttämättömiksi jo Kansainvälisen geofysiikan vuoden 1957—58 aikana. On erittäin toivottavaa, että kansainvälistä yhteistyötä jatketaan niiden käyttökelpoisuuden parantamiseksi.

2.1.9. Ajatusten ja kokemusten vaihto yksityisten tutkijain kesken

Kansainvälisen yhteistyön edellä esitetyt muodot edellyttävät kansainvälisiä järjestelyjä joko eri maiden hallitusten kesken taikka puhtaasti tieteellisten järjestöjen toimesta, joista on mainittava ennen kaikkea Tieteellisten unionien kansainvälinen neuvosto (International Council of Scientific Unions, ICSU). Tästä huolimatta on aina syytä muistaa, että monessakin mielessä tärkein tulos kansainvälisestä tieteellisestä yhteistyöstä saavutetaan eri maiden yksityisten tiedemiesten kesken tapahtuvan ajatusten, kokemusten ja menetelmien vaihdon avulla. Tämä tapahtuu vierailemalla muissa maissa virkatoverien laboratorioissa, osallistumalla muiden maiden tutkimus-alusten retkikuntiin ja osallistumalla kansainvälisiin tieteellisiin kokouksiin.

2.2. Muita tuloksia kansainvälisestä meritieteellisestä yhteistyöstä

Kansainvälisen meritieteellisen yhteistyön tieteellistä merkitystä on voitava verrata yhteisten tehtävien aiheuttamiin kustannuksiin, joihin on varojen lisäksi laskeettava myös vähälukuisen tieteellisen henkilöstön osittainen ohjautuminen teoreettisesta ja kokeellisesta tutkimuksesta kansainväliseen kenttätöhyöhön ja samalla syrjään kutakin maata välittömimmin kiinnostavista erillistehtävistä. Lisäksi on myönnettävä, että kansainvälisen yhteistyön koneistot ovat parhaimmillaankin kömpelöitä ja vaativat monilta työntekijöiltä paljon aikaa.

Toisaalta on kuitenkin syytä todeta, että kansainvälisellä meritieteellisellä yhteistyöllä on muutakin kuin tieteellistä merkitystä: yhteisyritysten suunnittelu ja suoritus johtavat kansainvälisen ajattelutavan kehittymiseen. Suuri merkitys on myös sillä, että kansainvälisen yhteistyön puitteissa luodaan edellytyksiä alikehittyneiden maiden tieteelliseksi ja taloudelliseksi kehittymiseksi. Eri maiden meritieteilijöiden kesken saumattomana jatkuva tieteellinen yhteistyö opettaa meidät ymmärtämään, kuinka muutkin ihmiset ja jopa valtiomiehet voisivat toimia yhteisymmärryksessä. Työskentelemällä ulkomaisten virkaveljien kanssa opitaan vastavuoroisesti ymmärtämään niitä yhteiskunnallisia ja taloudellisia rajoituksia, jotka vaikuttavat eri maiden tiedemiesten ajatuksiin ja toimintoihin.

Ulkomaisessa satamassa vieraileva merentutkimusala, joka on omistettu inhimillisen tietämyksen kartuttamiseen tarkoitettavaan työhön, on eräs tehokkaimpia keinoja edistää sekä tieteen osaksi suuren yleisön taholta tulevaa ymmärtämystä että myös kansainvälisen ajattelun henkeä. Kehittyneiden ja alikehittyneiden maiden yhteistyöhön perustuvat kansainväliset merentutkimusohjelmat voivat tukea köyhien maiden kehitystä monellakin tavalla. Ensinnäkin meritieteen harjoittaminen on perusteltavissa käytännön tarpeiden avulla. Toiseksi meritiede on suhteellisen hel-

posti käsitettävissä oleva tieteenhaara, joten sen puitteissa voidaan erinomaisesti suorittaa johdatusta tieteellisen työskentelyn menetelmiin ja tieteelliseen yritteliäisyyteen. Osittain juuri meritieteen avulla voidaan osoittaa kehittyville maille, että tiede todellisuudessa ei suinkaan ole mitään maagillista puuhaa vaan työtä, mitä jokainen voi ja mitä jokaisen jossakin määrin täytyykin nykyaikaisessa maailmassa suorittaa. Kehitysmaiden täytyy kehittää omaa tieteellistä kykyään voidakseen nousta köyhyydestä johtuvien raskaiden rajoitusten yläpuolelle. Ei riitä, että alikehittyneiden maiden edustajat tutustuvat muiden kansakuntien tieteeseen; heidän täytyy itse aktiivisesti osallistua tieteen suoritukseen. Koska meret ovat niin laajat ja niin huonosti tunnetut, melkein mikä kansakunta tahansa voi vaatimattomankin yrityksen puitteissa tunnustavasti edistää okeanografiaa. Koska meritiede tarkastelee jokaiselle tuttua ja näkyvää kohdetta, joka samalla kuitenkin on salaperäinen osa todellisuuden maailmaa, se on tieteenhaarana helposti ymmärrettävissä ja sen avulla voidaan helposti kasvattaa suurta yleisöä ymmärtämään tieteellisen tutkimuksen päämääriä ja menetelmiä. Lisäksi on siis huomattava, että juuri kehitysmaiden täytyy nopeasti perehtyä niitä mahdollisesti reunustaviin meriin sekä merikalastuksensa tuottavuuden parantamiseksi että sen perusedellytyksen, kalaston jatkuvan säilymisen turvaamiseksi.

2.3. Tulevaisuus

Kansainvälisen meritieteen edistymisen vuoksi on mitä kiireellisimmin päästävä siihen, että yksityiset kansakunnat nykyistä paremmin tunnustavat maailman merien tutkimisen yhtenäiseksi ja yhteiseksi tutkimuskohteeksi. Aavanmeren tutkiminen on niin kallista työtä, että sen voi yleensä rahoittaa ainoastaan valtiovalta. Ongelmana onkin saada valtiovallan edustajat eri maissa tietoisiksi meritieteen tarpeista ja siitä varmasti koituvasta sekä myös potentiaalisesti saavutettavissa olevasta hyödyistä.

Hallitustenvälisen meritieteellisen komission (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC) tulevaisuus riippuu sen mahdollisuuksista tehokkaasti edistää maailman merien tieteellistä tutkimusta. Tieteen tekevät miehet ja naiset eivätkä hallinnolliset elimet. Ollakseen halukkaat tukemaan jonkin hallinnollisen elimen työtä aktiivisten tiedemiesten täytyy olla vakuuttuneita siitä, että elin toimii heidän tieteellisten intressiensä hyväksi. Komission tehtävistä onkin ilmeisesti pidettävä tärkeimpänä meritieteellisen työn kehittämistä sen jäsenmaissa. Merentutkijat ovat valittavasti useimmissa maissa aivan liiaksi eristyneet sekä muiden geotieteiden tutkijoista että myös nykyaikaisesta biologisesta ja kemiallisesta tutkimuksesta. Valtiovallan tuki ohjautuu nimittäin useimmissa maissa rutiininomaiseen sovellettuun kalastustutkimukseen, rannansuojelutyöhön ja merenmittaustyön yhteydessä suoritettavaan meritieteelliseen kartoitukseen. Alan yliopistollinen tutkimus- ja opetustyö on liian hajallaan ja sen käytettävissä olevat varat ovat riittämättömät.

Hallitustenvälisen meritieteellisen komission täytyy löytää keinoja, joiden avulla jäsenmaissa voidaan luoda riittävän vankka perusta meritieteelliselle tutkimukselle ja opetukselle. Tämän päämäärän saavuttamiseksi komissio voisi muun muassa suorittaa

kansallisten raporttien säännöllistä vertailua ja laatia tämän perusteella eri maille ehdotuksia tarpeellisiksi toimenpiteiksi. Voitaisiin myös ajatella vierailevien kansainvälisten komiteoiden lähettämistä eri maihin perehtymään kansallisten tutkimusohjelmien toteuttamisen tehokkuuteen.

Kansainvälisten työohjelmien suunnitteluun täytyisi osallistua — hallitusten edustajien ja tieteellisten johtajien lisäksi — myös niiden tutkijoiden, jotka joutuvat suorittamaan varsinaisen työn, toisin sanoen niiden nuorten ihmisten, joiden tehtävänä on todellisia mittauksia suorittaen selvittää merien olemusta. On myös löydettävä keinot näiden nuorten tutkijain keräämiseksi yhteisiin neuvonpitotilaisuuksiin keskustelemaan siitä, mitä he haluavat tehdä, ja myös selvittämään, miten on suunniteltava niiden tutkimustehtävien käytännöllinen suoritus, joissa tarvitaan kansainvälistä yhteistyötä. Tulevaisuudessa kansainväliset yhteisohjelmat on suunniteltava usean vuoden tähtäyksellä. Nuoret tutkijat on koulutettava ajattelemaan pitkäjänteisesti.

Tulevina vuosina tarvitaan nykyistä tehokkaampaa yhteistyötä — paitsi eri maiden merentutkijain kesken — myös eri aloja edustavien tiedemiesten, lähinnä oseanografien, meteorologien, erilaisten biologien, geofyysikkojen, tähtitieteilijöiden sekä myös insinöörien kesken, toisin sanoen kaikkien niiden tutkijoiden kesken, jotka tutkivat maapalloa sekä aurinkokuntaa ja näiden historiaa.

Voidaan ennustaa, että jo lähimmän kymmenen vuoden kuluessa maailman merillä on kokonainen verkko mittauspoijuja ja pohjalle pystytettyjä laitteita, jotka suorittavat havaintoja ja jakavat havaintotulokset käyttäjilleen kansainvälisesti sovitujen järjestelmien puitteissa. Myös laivoja, lentokoneita, tutkimussukellusveneitä ja muita aluksia käytetään merien tutkimiseen monille uusilla ja epäilemättä myös kalliiksi tulevilla tavoilla. Näiden toimintojen kansainvälinen koordinointi edellyttää laajaa kansainvälistä, hallitustenvälistä yhteishallintoa.

3. MERITIEETEELLISESTÄ TUTKIMUKSESTA SAATAVA TALOUDELLINEN HYÖTY

Meritieteellisen tutkimuksen taloudellinen hyöty ilmenee

- toisaalta tuotteiden ja palvelusten säästöinä ja
- toisaalta tuotannon kasvuna.

On helppo laskutoimituksin osoittaa, mikä taloudellinen hyöty koituu eräistä julkisista investoinneista, esimerkiksi patojen tai vesijohtojen rakentamisesta; päätös investointeihin ryhtymisestä voidaan nojata suhteellisen tarkkoihin arviointeihin tuottojen ja kustannusten suhteista. Näin ei tietenkään yleensä ole asianlaita silloin, kun on kysymys esimerkiksi vuosikymmenen tai kaksi kestävän tutkimustyön kannattavuudesta. Kokemus tosin osoittaa, että tutkimustyöhön sijoitetut varat yleensä tuottavat hyvin suuren voiton, jota kuitenkin ei voida ennustaa yksityiskohtaisesti.

Toisaalta on kuitenkin mahdollista arvioida, millaisia uudistuksia tutkimustyön avulla voitaisiin aikaansaada jollakin toiminta-alalla. On myös mahdollista arvioida sitä taloudellista merkitystä, mikä näillä uudistuksilla ja muutoksilla olisi, jos ne voitaisiin toteuttaa. Tällaisten ennusteiden laatiminen saattaa osoittautua hyödylliseksi, vaikka ne täytyykin perustaa subjektiivisiin arviointeihin eikä kvantitatiivisiin ja objektiivisiin tietoihin. Päätökset tutkimustyöhön käytettävistä investoinneista ovat terveemmällä pohjalla, jos niitä voidaan edes summittaisesti verrata samojen varojen muunlaisesta sijoittamisesta saatavaan voittoon.

Voidaan edellyttää, että meritieteellisestä tutkimuksesta aiheutuva uudenlainen tuotanto ja sen aiheuttamat säästöt kasvavat ajan kuluessa. Jos kasvun nopeus on vakiosuhteessa lisääntyvään tuotantoon tai aiheutettuihin säästöihin, mitä täytyy pitää luonnollisena, nämä kasvavat eksponentiaalisesti, mutta kaksinkertaistumisajan pituus on eri tapauksissa erilainen.

Eräs välttämätön edellytys sille, että maailman meritieteellinen tutkimus saisi aikaan uusia säästöjä ja uutta tuotantoa esimerkiksi 10 miljardin markan verran vuotta kohti laskettuna, on rajoitettu mutta jatkuva kansainvälinen investointi alan tutkimukseen. Tuon päämäärän saavuttaminen on täysin mahdollista 10—15 vuoden kuluessa. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon, että itse tutkimustyön vaatimien sijoitusten lisäksi tarvitaan lisävaroja myös teknillisten ratkaisujen toteuttamiseen.

Arvioidessaan sijoitusten tarkoituksenmukaisuutta talousmiehet mielessään diskonttaavat odotettavissa olevat tuotot ja kustannukset näiden nykyiseen arvoon. Koska tieteellisen tutkimustyön tulokset aina ovat epävarmat, on myös varojen sijoittamista tutkimustyöhön pidettävä epävarmana, joten on käytettävä korkeaa, esimerkiksi 10 prosentin diskonttokorkoa.

Useassa eri maassa on viime aikoina suoritettu täsmällisiä arviolaskelmia meren-tutkimukseen sijoitettavilla varoilla saavutettavasta taloudellisesta hyödystä. Nämä laskelmat osoittavat, että hyöty — tuotteiden ja palvelusten säästönä sekä tuotannon lisäyksenä — on yleensä nelin- tai viisinkertainen verrattuna 10 prosentin diskontto-korkoon, vaikka laskelmissa on asianmukaisesti otettu huomioon sekin, että meren tehostuvasta käytöstä saavutettava taloudellinen hyöty tietenkin vain osaksi johtuu itse tutkimustyöstä. Taloudellisesta hyödystä on — sovellutusalaan riippuen — 10—100 prosenttia välitöntä seurausta merentutkimustyöstä, kun taas loput 90—0 prosenttia perustuu muihin kustannuksiin. Mainitut laskelmat on lisäksi varmuuden vuoksi perustettu vain ilmeisille, varmasti ennustettavissa oleville taloudellisille saavutuksille, kun taas kaikki ennusteet mullistavista teknillisistä innovaatioista ja suoranaistista läpimurroista on jätetty tekemättä. Mitään taloudellista arvoa ei myöskään voida katsoa olevan tyydytyksellä, joka koituu merien ja niiden elämän paremmasta ymmärtämyksestä. Sama koskee myös sekä kansallisen arvovallan nousua että sitä kansainvälisen yhteisymmärryksen lisäämistä, mikä aiheutuu merentutkimuksen alalla tapahtuvasta kansainvälisestä yhteistyöstä.

Tässä luvussa on jätetty ottamatta huomioon myös useat muunlaiset taloudelliset arvot. Esimerkiksi todettakoon, että merien jatkuva tutkiminen on maailman kalastuksen tuotoksen *nykyisellä* tasolla säilyttämisen tärkeä perusedellytys. Laskelmat on siis kuitenkin suoritettu vain *lisääntyvän* tuotannon mahdollisuuksiin perustuen. Myös mannerhyllyn öljyvarojen nopeasti lisääntyvä käyttö kuuluu taloudellisen tarkastelun ulkopuolelle jätettyyn ryhmään, koska suuret öljy-yhtiöt itse rahoittavat tarvittavan tutkimuksen. Saavutettavissa olevasta taloudellisesta hyödystä huolimatta on tarkastelun ulkopuolelle jätetty myös tsunami-hyökyaaltojen ja myrskyn tehostamien tulvavuoksien parannetut ennustus- ja varoitusjärjestelmät. Sama koskee myös sitä hyötyä maalla suoritettavalle öljyn ja malmien etsinnälle, mikä saavutetaan ymmärtämällä entistä paremmin merien geologista historiaa ja merissä tapahtuvia sedimentaatioilmiöitä.

3.1. Merien satoa

Nykyisin ja ehkä vielä monina tulevinakin vuosina merien kasvit ja eläimet ovat niiden tärkeimmät luonnonvarat. Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa vain suhteellisen vähäinen osa (5—20 %) keskimääräisen ruokavalion eläinproteiinista on peräisin välittömästi merestä. Maapallon muissa osissa, nimenomaan Aasiassa on merestä saatavalla eläinproteiinilla korvaamattoman tärkeä osuutensa ihmisravinnossa.

Maailman merikalastuksen vuotuinen kokonaistuotos nousi vuodesta 1955 vuoteen 1962 noin 25 miljoonasta 40 miljoonaan tonniin, eli siis noin 7 prosenttia vuodessa. Voidaan olettaa tämän kasvunopeuden pysyvän ennallaan ainakin jonkin aikaa tulevinakin vuosina. Kalan »teollinen» käyttö tosin kasvaa nopeammin kuin kalan käyttö ihmisravintona. Mutta jälkimmäinenkin kasvaa keskimäärin 5,5 % vuodessa eli siis suunnilleen kaksi kertaa niin nopeasti kuin maapallon väestö.

Vuoden 1961 merikalastuksen kokonaissaaliista käytettiin 9,6 miljoonaa tonnia kalajauhon ja -öljyn valmistukseen. Vastaava luku vuonna 1955 oli vain 4 miljoonaa tonnia. Kalajauhon pääosa käytetään siipikarjan ja muunkin karjan rehuksi, toisin sanoen välillisesti ihmisravinnoksi. Mainittu ainakin kuuden vuoden ajan jatkunut noin 16 prosentin vuotuinen kasvu merkitseekin ihmiskunnan ruokavalion erittäin suurta kohentumista välillisesti kalastuksen avulla. Huomattakoon lisäksi, että suurin osa kananpoikasen syömästä kalaproteiinista jää sen ruumiiseen.

Ei voida olettaa näiden korkeiden kasvulukujen pysyvän ennallaan pitkään, mikäli merentutkimusta ei ryhdytä tehostamaan koko maailman käsittävässä laajuudessa. Tällöin on päähuomio kohdistettava seuraaviin kysymyksiin: Miten kalapopulaatioiden sijainnit ja suuruudet muuttuvat meren olojen vaihtuessa? Mitkä ovat ne ympäristötekijät, joiden yhteisvaikutuksesta kussakin tapauksessa muodostuvat taloudelliselle pyynnille riittävän runsaat kalatihentymät? Mitkä ovat ne kalojen käyttäytymistavat, joiden avulla voidaan alentaa kalastukseen liittyviä kustannuksia?

Maailman merikalastuksen vuotuinen arvo on kalastajan kannalta katsottuna nykyisin kymmenisen miljardia markkaa. Koska saaliin arvo suunnilleen viisinkertaistuu tuottajan ja lopullisen kuluttajan välillä, mainittu arvo on kerrottava viidellä, kun lasketaan sen osuutta maailman bruttokansantuotteesta. Meritalouden tuotos voidaan ehkä kaksinkertaistaa noin 15 vuodessa. Tämän saavuttamiseksi välttämätön maailmanlaajuinen tutkimus- ja kehitystoiminta saa siis tulla vuodessa maksamaan miljardeja markkoja, ilman että sijoitusta voidaan pitää epäedullisena.

3.1.1. Merentutkimuksesta kalastukselle koitua hyöty

Niiden kalojen ja muiden eliöiden ekologian ja biologian tutkimus, joihin kalastus perustuu, koituu kahdella välittömällä tavalla taloudelliseksi hyödyksi:

(1) Niiden kalojen yhteydessä, joita jo nyt pyydetään runsaasti, tutkimustyö sekä johtaa tehokkaampaan pyyntiin että luo perustan kalakantojen säilymistä tarkoittaville toimenpiteille. (Kalakannan katsotaan »säilyvän» silloin, kun se pysyy vuodesta toiseen sen suuruisena, että se tuottaa maksimisaaliin.) Tähän ryhmään kuuluvat kalapopulaatiot ovat maailman merien monilukuisten kalalajien joukossa vähemmistönä. Mutta siihen kuuluvat pohjoisen pallonpuoliskon rannikonläheisten vesien arvostetuimmat kalat ja myös monet avomerikalastuksen arvokkaimmista kalalajeista. Maailman merikalastuksen laajetessa ja tehostuessa yhä uusien kalakantojen pyynti saavuttaa tason, jolla tarvitaan tutkimustyöhön perustuvaa uutta tietoa, koska vain tähän nojautuen voidaan suunnitella kunkin kannan säilymiseen tähtäävät toimenpiteet.

(2) On välttämätöntä tutkia niiden kalojen elintapoja ja reaktioita, joita nyt pyydetään tuskin ollenkaan. Tämä työ luo perustan niiden laajamittaisen, taloudellisesti riittävän halvan pyynnin kehittämiseksi. Tällaisia lähes käyttämättömiä kalakantoja on merissä vielä paljon, jopa suurtenkin kalastusvaltioiden rannikoiden läheisyydessä.

Kalansaaliiden suurentaminen edellyttää sekä käyttämättömien kalakantojen saatamista kalastajan käyttöön että saaliin markkinoimismahdollisuuksia. Molemmat edellytykset ovat saavutettavissa, jos riittävän tehokkaasti tutkitaan meren eläviä luonnonvaroja ja näiden pyyntiä koskevia menetelmiä sekä markkinoinnin ongelmia.

3.1.2. Riittämättömästi käytetyt kalakannat

Eräät tunnetut esimerkit osoittavat, kuinka voidaan ryhtyä pyytämään uusia kalakantoja. Meritieteellinen tutkimus on viime 15 vuoden aikana osoittanut Kalifornian rannikolla käytännöllisesti katsoen koskemattoman, suuren sardellikannan, joka näyttäisi riittävältä luomaan edellytykset noin miljoonan tonnin vuotuiselle kalastukselle. Koska sardelli ja sardiini tällä alueella kilpailevat samasta ravinnosta, näyttäisi sardellin tehostuva pyynti epäsuorasti parantavan myös sardiininpyynnin mahdollisuuksia. Samalla alueella on myös hyvin laaja, käyttämätön kummeliturkakanta. Sekä sardellia että kummeliturkskaa on toistaiseksi käytetty pääasiassa vain kalajauhon valmistukseen. Tutkimus on edelleen osoittanut, että Yhdysvaltain Tyynen valtameren rannikon piikkimakrillikanta, jota nykyisin verotetaan vain noin 45 000 tonnia vuodessa, riittäisi paljon tehokkaampaankin kalastukseen.

Beringin meren ja Alaskan lahden eräiden pohjakalojen kannat ovat hyvin suuret; viime mainitulla alueella on hyvin runsaasti myös meriahventa. Venäläiset ja japanilaiset kalastajat verottavat noita kantoja jo nyt yli miljoonalla tonnilla vuodessa.

Vuodesta 1962 lähtien on Atlantilla saatu käyntiin yhä laajentuva tonnikalalan ja boniitin aavanmerenkalastus. Vielä muutamia vuosia sitten ei tiedetty, että boniittia olisi kaupallisesti katsoen riittävästi. Voidaan olettaa, että tämä nyt alkanut uusi kalastus mainittujen arvokkaiden kalalajien pyytämiseksi yhdessä etelämpänä Atlantilla tapahtuvan tonnikalalajien pyynnin kanssa muodostuu yhtä tärkeäksi kuin itäisen Tyynen valtameren vastaava kalastus, jonka saaliin vuotuinen arvo on yli 40 miljoonaa dollaria. Mutta myös Tyynen valtameren tonnikalalajien pyynnin voidaan olettaa tehostuvan nykyisestään, sillä vaikka tuunaa ja ehkä myös albakoria jo nyt kalastetaan melkein säilyvyysrajalla, ainakin boniitin ja ehkä myös tonnikalalan pyyntiä voidaan lisätä. Jatkuva tutkimus tuo varmasti esille yhä uusia tällaisia mahdollisuuksia. Esimerkiksi Intian valtamereltä on aivan äskettäin keksitty suuret käyttämättömät tonnikalojen, katkaravun, hummerin, ja sardiinien kannat.

3.1.3. Pyyntikustannusten alentaminen

Jotta varmistettaisiin suurenevan kalansaaliin markkinointi, on ennen kaikkea välttämätöntä avustaa kalastajia keksimään keinoja kalastuksen tehostamiseen ja saaliin kuljettamiseen markkinoille entistä halvemmalla. Tämän toiminnan tuloksena kalastajat pystyvät tuomaan markkinoille entistä runsaammin halpaa eläinproteiinia.

Aavanmerenkalastus näyttää olevan kehitymässä kohti maailmanlaajuisia operaatioita, joiden saaliin markkinointikin tapahtuu yhtä laajassa mittakaavassa. Niissä

käytetään sekä suuria, pitkän toimintasäteen omaavia aluksia, jotka toimivat kotimaastaan käsin, että myös vieraan lipun alla kulkevia aluksia, jotka toimivat merentakaisista tukikohdista käsin. Tämä kehitys ilmenee selvimpänä japanilaisten kalastuksessa ja on kehittymässä tärkeäksi myös neuvostoliittolaisten operaatioissa. Myös Skandinavian maat, Espanja, Ranska, Saksa ja Yhdysvallat alkavat seurata esimerkkiä. Tällaisen valtamerenlaajuisen kalastuksen kehittämiseksi on myös meritieteellisellä tutkimuksella tärkeä merkityksensä.

3.1.4. Meren fysikaalisten olojen vaikutukset kalastoon

Merikalastuksen tuotos vaihtelee monilla alueilla ja monien kalakantojen osalta vuodenaikojen vaihtuessa, vuodesta toiseen ja vieläpä vuosikymmenestä toiseen. Ainakin joissakin tapauksissa tiedetään näiden vaihteluiden olevan selvässä riippuvuussuhteessa meren fysikaalisten olojen suurimittakaavaisiin muutoksiin. Seuraavat esimerkit valaisevat näitä tärkeitä riippuvuussuhteita.

Etelä-Amerikan luoteisrannikolla, Perun ja Ecuadorin edustalla itäisen Tyynen valtameren pintaveden rytmillinen lämpeneminen ja jäähtyminen noudattelee 5—8 vuoden rytmiä niin ilmeisenä, että sille on annettu oma nimikin, »El Niño». Tämän ilmiön syytä ei vielä kukaan tunneta. Mutta itse ilmiö ja sen seuraukset tunnetaan sitä paremmin: rannikonläheisen kylmän, syvältä pinnalle kumpuavan ravinnerikkaan veden päälle valuu toisinaan Tyynen valtameren trooppista, lämmintä vettä ohueksi peitekerrokseksi, minkä seurauksena ravinnerikkaan syvänveden kumpuaminen pinnalle estyy. Juuri tällä alueella on normaalisti suunnattomat määrät ns. Chilen sardellia (*Engraulis ringens*), jonka pyyntiä voidaan sanoa maailman laajimmaksi yhteen lajiin kohdistuvaksi kalastukseksi. Myös tuunan, boniitin ja sardan pyynti on erittäin laajaa. Kalastoon perustuu myös alueen hyvin suurten merilintukantojen tuote, guano, jonka kaupallinen merkitys tunnetaan yleisesti. »El Niñon» vaikutus kalastuksen tuotokseen ja guanon tuotantoon on katastrofimainen. Kaikki kalat kuolevat suurin joukoin. Usein »El Niño» aiheuttaa myös kalaa syövien guanay-lintojenkin massakuoleman. Toisinaan siitä seuraa meren kaiken elämän niin täydellinen kuolema, että kaikki rannanläheiset vedet saastuvat. »El Niñon» yhteydessä esiintyy lisäksi Ecuadorin ja Perun rannikoilla kaatosateita.

Eritoten merien itäosissa havaitaan tropiikin merivirtojen yhteydessä usein lämpimän peiteveden alla jyrkän harppauskerroksen erottamana melkein hapetonta vettä. Kun tämä varsin vähähappinen vesi joskus nousee ylemmäksi ja tunkeutuu mannerhyllylle, ovat seuraukset pohjaeläimistöille tuhoisat. Malabarin rannikolla Intiassa huuhtoutuvat leveän mannerhyllyn eräät osat käytännöllisesti katsoen joka vuosi puhtaisiksi kaikesta elämästä. Tämä tapahtuu silloin, kun monsuuni kääntyy ja sen seurauksena myös merivirrat muuttavat suuntaansa, harppauskerros nousee kohti pintaa ja sen alla oleva hapeton, viileä vesi pääsee nousemaan mannerhyllylle. Uivat eläimet pakenevat pinnalle ja kohti rantaa. Täysikasvuisia katkarapuja parveilee merenpinnalla. Tonneittain kampelaa nousee pinnalle ja ajautuu rannoilla oleviin verkkoi-

hin. Vastaava tapahtumaketju havaitaan vuosittain myös mm. Guinean lahden pohjoisrannalla vaikkakin vähemmän selvänä.

Kalojen ja selkärangattomien suuret kannat kuuluvat usein alueille, joilla esiintyy syvänveden kumpuamista pinnalle. Tästä on parhaana esimerkkinä juuri sardellin suuri kalastus Perun rannikolla. Dahomen rannikolla syvävesi kumpuaa pinnalle suhteellisen rajoitetulla alueella erään nimen takana: kalastajat saavat saaliiksi 5 000 kanootilla kahdessa kuukaudessa 10 000 tonnia sardiinia. Panaman lahden vaaleanpunainen katkarapu saapuu rannikolle kylmän, kumpuavan veden keralla. Adenin lahden kuningasmakrillit (*Scomberomorus*) kulkevat merenpinnalla parvina, kun kumpuaminen on jäädyttänyt pintavedet. Silloin kun Malabarin rannikolla pohjaeläimet kuolevat ja kalat joutuvat pakosalle, Sarashtan rannikolla kylmä syvävesi ajaa suuret »Intian lohjet» eli darat (*Polydactylus*) pohjalle asetettuihin pyydyksiin.

Noin 80 prosenttia Intian merikalastuksen saaliista tulee länsirannikolta. Pääosa siitä saadaan Malabarin ja Kanaran rannikoilla eli vyöhykkeellä, joka ulottuu pohjoisessa Ratnagariin ja etälässä Alleppyyn. Saaliin valtaosan muodostavat öljysardiini (*Clupea longiceps*) ja Intian makrilli (*Rastrelliger canagurta*). Kummankin saaliit vaihtelevat hyvin suuresti. Noin 100 vuoden suhteellisen luotettavat öljysardiinin saalistilat osoittavat muun muassa seuraavia oikullisia vaihteluita:

1932—33	1 123 tonnia
1933—34	72 000 tonnia
1940—41	25 269 tonnia
1946—47	9 tonnia
1956	7 412 tonnia
1957	191 469 tonnia.

Sardiinin pyynnin vuosihuippu saavutetaan aina monsuunien vaihtumisen yhteydessä, toisin sanoen juuri silloin, kun koillismonsuunin Bengalin lahdelta tuoman lämpimän, suolaisen veden tilalle tulee pohjoisesta viileää, vähäsuolaista vettä, joka on luonteenomaista lounaismonsuunin aikana. Myös makrillin saaliit vaihtelevat vuodesta toiseen vaikkakaan eivät yhtä paljon kuin öljysardiinin, kuten seuraavat luvut osoittavat:

1951	103 574 tonnia
1956	15 023 tonnia
1957	86 741 tonnia.

Suurin piirtein näyttää siltä, että kun öljysardiinisaalis muodostuu suureksi, makrillisaalis jää pieneksi, ja päinvastoin. Joka tapauksessa voidaan pitää ilmeisenä, että nämä saaliinvaihtelut liittyvät monsuunien vaikutuksiin.

Albakorin (*Thynnus alalunga*) kesäpyynnin saaliit vaihtelevat eritoten Japanin ja Pohjois-Amerikan länsirannikolla hyvin suuresti. Varsinkin jälkimmäisessä tapauksessa vaihtelut on voitu yhdistää tiettyjen vesimassojen liikkeisiin, joita luonnehtivat tunnetut pintalämpötilat ja suolaisuudet.

Boniitin (*Katsuwonus pelamis*) kalastus kuuluu Tyynen valtameren tärkeimpiin; sitä saadaan vuosittain lähes neljännesmiljoona tonnia. Boniitin pyyntiä harjoitetaan kaupallisesti merkitsevässä laajuudessa varsinkin Japanin ja Havaijin vesillä sekä Tyynen valtameren itäosan trooppisissa ja subtrooppisissa osissa. Kalastuksen tuotos vaihtelee kaikilla näillä alueilla jyrkästi. Toistaiseksi ei ole huomattu mitään riippuvuussuhteita pyynnin laajuuden tai tehokkuuden ja saaliin suuruuden vaihteluiden välillä millään alueella. Ei myöskään ole havaittu riippuvuuksia eri alueiden saaliin vaihteluiden kesken. Voimaperäinen tutkimus onkin selvästi osoittanut, että saaliiden vaihtelut vuodesta toiseen eivät johdu itse kalastuksesta. Boniitin esiintyminen eteläisen Kalifornian ja pohjoisen Chilen välisellä laajalla alueella vaihtelee itäisen Tyynen valtameren lämpenemisen ja kylmenemisen mukaan: boniittia saadaan mainitun alueen keskiosista parhaiten kylminä vuosina, kun taas alueen pohjoisista ja eteläisistä osista sitä saadaan eniten lämpiminä vuosina. Havaijin alueella saaliin vaihtelut ja myös kalastuksen alkamishetki riippuvat ajankohdasta ja nopeudesta, millä Kalifornian virran jatke tunteutuu Havaijin saariston lävitse.

Japanilaiset ovat perusteellisesti tutkineet riippuvuutta Katsuon matalikkojen kalastuksen vaihteluiden ja Kurošivon vuon muutosten välillä. Meille riittää todeta, että Kurošivo on osoittautunut ratkaisevaksi kalansaaliiden muutoksille. Tekijöiden moninaisuuden vuoksi syy-yhteydet ovat kuitenkin hyvin monimutkaiset.

3.1.5. Saaliinvaihtelut, joiden syitä ei ymmärretä

Edellä esitetyissä tapauksissa meren fysikaalisten olojen muutosten vaikutus saaliiden suuriin heilahteluihin oli suhteellisen selvä. Toisissa tapauksissa ei saaliiden suuria vaihteluita ymmärretä yhtä hyvin.

Norjan sillinkalastuksen saaliin vaihteluista on olemassa merkintöjä keskiajalta lähtien. Viimeksi todettiin saaliin vähentyneen jyrkästi vuodesta 1956, jolloin se oli 1 146 000 tonnia, vuoteen 1961, jolloin se oli enää 69 000 tonnia. Koko tämän vuosisadan ajan norjalaiset ovat tutkineet ilmasto- ja merellisten tekijöiden vaikutusta sillinpyyntinsä tuotokseen. Syy-yhteydet eivät kuitenkaan vielä näytä tulleen lopullisesti selvitettyiksi.

1930-luvulla japanilaisten tonnikalan (*Oreynus thunnus*) ja sardiinin (*Sardina melanostica*) saaliit olivat suuret. 1940- ja 1950-luvulla molempien kalojen saaliit supistuivat lähes olemattomiksi. 1950-luvun lopulla saaliit alkoivat jälleen parantua. Tämä suotuista kehitys jatkuu edelleenkin; sekä tonnikalan että sardiinin pyynti on jälleen tärkeä japanilaisille. Ei ole voitu havaita mitään todistettavissa olevaa yhteyttä kalastuksen määrän tai tehokkuuden ja saaliiden edellä mainittujen suurten vaihteluiden välillä. Japanilaisten suorittamat laajat tutkimustyöt viittaavatkin siihen, että mainittujen suurten vaihteluiden syiden täytyy löytyä meriympäristössä vaikuttavien joidenkin fysikaalisten tekijöiden joukosta.

Jos kiinnitetään huomio vain saaliin volyymiin, menhaden (*Brevoortia tyrannus*) on Yhdysvaltain Atlantin rannikon ylivoimaisesti tärkein kala. Keskimääräinen vuosi-

saalis on 600 000 tonnia, mutta vuosisaaliit vaihtelevat suuresti ilmeisestikin ainakin osaksi seurauksena meriveden lämpötilojen vaihteluista, jotka toisinaan aiheuttavat kalojen siirtymisen kalastusalusten toimintasäteen ulkopuolelle. Merellisten tekijöiden vaikutusta myös makrillin (*Scomber*) esiintymiseen Uuden Englannin rannikolla on tutkittu jo kauan.

Sardiinin (*Clupea pilchardus*) pyyntiä harjoitetaan Länsi-Saksasta Marokkoon ulottuvalla alueella. Ranskassa sen pyynti oli tärkeä jo 900-luvulla. Vuotuinen saalis nousee suunnilleen 200 000 tonniin. Tämä kalastus on taloudellisesti tärkeä erityisesti Espanjan, Portugalin ja Marokon rannikkoseuduilla sekä myös Ranskan Atlantin rannikolla. Kokonaissaalis ei yleensä vaihtelee mainittavasti vuodesta toiseen. Sen sijaan jollakin osa-alueella tuotos voi olla varsin epätasainen siten, että parhaan saaliin vuotta edeltää erittäin huono vuosi. Otaksutaan, että nimenomaan Portugalin edustalla saaliiden vaihtelut liittyvät syvänveden kumpuamisen intensiteetin vaihteluihin.

3.1.6. Merioloja koskevan tietämyksen tarve

Kaikki muutokset merivirroissa, veden lämpötilassa ja muissa fysikaalisissa ominaisuuksissa sekä veden kemiallisessa koostumuksessa vaikuttavat olennaisesti maailman merien kalastuksen tulokseen. On pyrittävä tekemään kalastajalle mahdolliseksi aavistaa nämä muutokset ennalta, koska hän tällaisten ennusteiden avulla voi tehostaa työskentelyään ja alentaa tuotantokustannuksiaan. Tähän päämäärään hän saattaa rajoitetussa mielessä päästä omienkin havaintojensa avulla, vaikka meren tapahtumat jollakin suppealla alueella ovatkin myös matkan päässä esiintyvien erilaisten meteorologisten ja meren tapahtumien seurasta. Mitä ovat nämä kaukaiset tapahtumat »matkan päässä»? Miten ne vaihtelevat? Mikä on niiden keskinäinen vuorovaikutus? Miten paikalliset ilmiöt riippuvat niistä?

Mitään muuta aavanmeren ilmiötä eivät pelaagiset kalastajat koeta löytää yhtä innokkaasti kuin vesimassojen välisiä rajapintoja, jotka ovat havaittavissa esimerkiksi pinta-aaltojen taivutusilmiöinä, pinnalla kelluvan aineen tihentyminä taikka batytermografin osoittamina jyrkkinä harppauskerroksina. Toisaalta epävakaisen meren piirissä on tuskin mitään niin vaihtelevaista kuin noiden rajapintojen sijainti, jyrkkyys ja pysyvyys.

Kalastuksen kehittämiseksi ja myös itse kalastustutkimuksen tarpeita varten olisi-kin meristä pystyttävä laatimaan säännöllisin väliajoin — kuukausittain tai ainakin vuodenajoittain — karttaesityksiä joko nykyisin käytettävissä olevien taikka myöhemmin ehkä keksittävien vielä käyttökelpoisempien parametrien alueellisesta jakautumisesta. Näillä kartoilla täytyisi esittää vallitsevat olot edeltäneen vuoden samaan ajankohtaan verrattuna ja tapahtuneet muutokset sekä poikkeamat esimerkiksi 15 vuoden keskimääräisistä oloista. Nämä kartat täytyisi suunnitella siten, että esimerkiksi syvänveden kumpuamisen vyöhykkeet sekä merivirtojen rajapinnat ja muutkin kalastukselle tärkeät seudut olisivat suurennettavissa yksityiskohtaista tarkastelua

varten, ilman että esitysten yhdenmukaisuus muiden merialueiden kanssa silti tästä kärsisi. Lisäksi olisi keksittävä keinot näiden synoptisten meritieteellisten karttojen nopeaksi välittämiseksi myös merellä oleville kalastuksille ja rannikoilla oleville työnteijöille. Tällaisten synoptisten karttojen laatiminen ja viestitys niiden tarvitsijoille sopisi mainiosti Maailman havaintotuloskeskuksille, joille pitäisi osoittaa varoja riittävästi tämän uuden palvelumuodon aloittamiseksi aikanaan. Tässä suhteessa Kansainvälinen merentutkimusneuvosto (ICES) Kööpenhaminassa on jo ottanut ensimmäiset tärkeät askeleet.

Parametrejä, jotka pitäisi määrääjain kartoittaa synoptisesti, ovat:

a) Meriveden pinnan lämpötila, jonka kartoitusta suoritetaan jo nyt erinäisillä merialueilla joko kokeilumielessä taikka säännöllisenä palvelumuotona. Tietojen keräämisen, analysoinnin ja karttaesitysten menetelmiä on jo kehitetty usealla taholla, mutta valitettavasti eivät eri maissa ja eri organisaatioiden puitteissa käytetyt menetelmät ole keskenään yhtäpitävät. Lisäksi on selvää, että vain hyvin vähäiset osat maapallon meristä ovat toistaiseksi tämän palvelumuodon kohteina.

b) Erilaiset kemialliset parametrit, eritoten meriveden suolaisuus. Olisi välttämättä kiireellisesti kehitettävä laitteita eri kemiallisten parametrien automaattiseksi rekisteröimiseksi täyttä vauhtia kulkevilta aluksilta. Lisäksi olisi saatava aikaan näiden tietojen viestitys havaintojenkeruukeskuksiin rannikoille samaan tapaan, kuin millä jo nyt viestitetään pintaveden lämpötilasta, ilmanpaineesta ja säästä tehdyt havainnot.

c) Lämpötilan harppauskerroksen syvyys ja intensiteetti.

d) Lämpötila ja suolaisuus 10 metrin syvyydessä.

e) Meriveden lämpötila pohjalla mannerhyllyllä, erityisesti suurten kalastusmatalikkojen alueilla.

f) Planktonin massa, joka pitäisi voida rekisteröidä automaattisesti ja viestittää heti edelleen. (Vrt. b).)

g) Biologinen kokonaismassa. Tähän tarkoitukseen olisi kehitettävä jonkinlainen kaikuluotain, joka kulkevalta alukselta jatkuvasti määrittäisi aluksen reitin kohdalla olevan biologisen massan vaihtelevan suuruuden. Tuollaisen laitteen täytyy olla yksinkertainen ja niin vankkatekoinen, että sitä voidaan käyttää paitsi tutkimusaluksilla myös kauppalaivoilla ja kalastusaluksilla. Käyttämällä tuollaista kaikuluotainta ja vedenalaista televisiokameraa samanaikaisesti voidaan tutkimusaluksilla identifioida ja arvioida kvantitatiivisestikin biomassan taloudellisesti merkitsevät komponentit.

h) Ilmanpaine.

i) Pilvipeitteen määrä.

j) Vesimassojen rajapinnat.

k) Myrskyjen radat.

Jokaista synoptista ohjelmaa, siinä käytettyjä menetelmiä ja siihen liitettyjä parametrejä täytyisi alati uusien jatkuvan kehityksen luoman tarpeen mukaan.

Synoptisten karttojen lisäksi tarvitaan jatkuvia havaintosarjoja suhteellisen kiinteästi sijaitsevilta havaintoasemilta. Valtamerten säälaivoille, ankuroituihin poijuihin

ja valtamerten saarille pitäisi sijoittaa yhä useampia jatkuvasti rekisteröiviä laitteita. Näiden laitteiden kehittäminen ja kokeilu edellyttävät kuitenkin vielä paljon työtä. Tästä huolimatta niiden nykyisiä prototyyppejäkin pitäisi jo nyt sijoittaa merien avainasemiin mahdollisimman nopeasti. Eristetyillä mutta sitä tärkeämmillä paikoilla on monissa laitoksissa pystyviä henkilöitä, jotka olisivat halukkaat ottamaan hoitaakseen tällaisia laitteita. Heihin kuuluvat kalastuksen kehittämisestä huolehtivat viranomaiset, kalastussatamien ja kalankäsittelylaitosten esimiehet ja kalastusalusten päälliköt. Tällaiset laitteet voitaisiin asentaa paikoilleen ja hoitaa rajoitetunkin taloudellisen ja teknillisen tuen turvin monien kehitysmaiden laboratorioden toimesta.

3.1.7. Kalojen alueellisen jakautuneisuuden tutkiminen

Kalastuksen kohteina olevien kalakantojen esiintymisalueet ja -syvyydet tunnetaan yleensä vain juuri silloin, kun niitä kalastetaan. Muina aikoina samat kalat voivat olla aivan toisilla maantieteellisillä alueilla ja esimerkiksi paljon syvemmällä meressä. Regionaalisen ja koko maapallon laajuisen kalastuksen potentiaalisten mahdollisuuksien ymmärtämiseksi on välttämätöntä selvittää sekä jo käytettyjen että käyttämättömien kalakantojen esiintyminen tavanomaisia kalanpyydyksiä ja myös tutkimustarkoituksiin suunniteltuja laitteita käyttäen. Mutta täysikasvuiset ja varsinkin alamittaiset yksilöt voivat ainakin ajoittain olla lähes kokonaan niiden laitteiden saavuttamattomissa. Tavanomaisin laittein suoritettu tutkimus on lisäksi hidasta, kallista ja riittämätöntä. Se voi suorastaan johtaa virheellisiin päätelmiin, ennen kaikkea kantojen suuruuden aliarviointiin. On olemassa useita uusia mahdollisuuksia kartuttaa kalojen jakautuneisuuden ymmärtämiseksi tarvittavia havaintotuloksia. Näitä ovat mm. vedenalainen ääni, televisio, kalanpoikasten alueellisen jakautuneisuuden tutkimukset sekä kalansuomujen keruu kerrostuneista pohjalietteistä.

Pelaagisesti elävien kalojen poikasten keräämiseen ei tarvita muuta kuin tutkimus-alue ja tavalliset planktonhaavit. Näin saadaan kerätyksi runsaasti tietoja kaloista kahden erittäin tärkeän elinvaiheen, nimittäin kudun ja mätijyvien poikasiksi kehittymisen yhteydessä. Samalla saadaan tärkeätä tietoa myös puheena olevien kalayksilöiden planktonisesta assosioitumisesta. Merien tavallisimpien kalojen pelaagisesti eläviä poikasiasia on tavattomat määrät ja ne ovat levinneet laajalle, joten suhteellisen harvaankin otetut näytteet riittävät moniin tutkimustarkoituksiin. Aikaisemmin tuntemattoman kalanpoikasen identifioimiseen tarvitaan erikokoisten poikasten ja isompien kalayksilöiden lajisarjoja. Kudun runsauden joltisenkin tarkka arvioiminen edellyttää myös muita tutkimuksia, muun muassa aikuisten kalojen hedelmällisyyden määrittämisä.

Kaikissa niissä tarkasteluissa, joilla selvitetään jonkin lajin todellista runsautta, on suurimpana vaikeutena epävarmuus lajin pysyvyydestä tietyllä alueella. Joissakin tapauksissa laajat historialliset muistiinpanot mahdollistavat pysyvyydenkin arvioimisen. Useimmissa tapauksissa on kuitenkin syytä olettaa, että tietyn lajin levinnei-

syys ja runsaus vaihtelevat suuresti esimerkiksi muutamien vuosikymmenien kuluessa, vaikka tästä ei vielä olisi ehditty saada kokemuksiakaan.

Kalan suomet, kuuloluut ja eräät muut jäännökset säilyvät eräissä pohjalietteissä lähes muuttumattomina, jos liete saostuu pohjalle riittävän nopeasti ja jos olot pohjan pinnassa ovat riittävän pelkistävät, kuten esimerkiksi eräissä rannikonläheisissä altaissa. Jonkin tietyn vuosikymmenen taikka jopa tietyn vuoden aikana muodostunut lietekeeros saatetaan tunnistaa. Vuosikerrostumat voivat sisältää tunnistettavissa olevia kalanjäännöksiä riittävästi jonkin kalalajin pysyvyyden vaihteluiden selvittämiseksi. Samalla voidaan selvittää eri lajien runsauksien välisiä riippuvuuksia ja koko faunan rakenteen suurmuutoksia. Tämä voidaan suorittaa esimerkiksi vuosikymmenittäin 200 vuoden ajalta, toisin sanoen aikaskaalassa, joka antaa käyttökelpoisimmat tiedot kalaston vaihteluiden arvioimiselle ja kalastushallinnon siihen perustuville toimenpiteille. Muiden orgaanisten jäänteiden, esimerkiksi piikuoristen levien avulla saadaan samalla selvyyttä meressä vallitsevien olojen aikaisemmista vaihteluista.

Kalanpoikas- ja sedimenttitutkimuksiin tarvitut näytteet voidaan ottaa hyvin yksinkertaisin laittein. Sen sijaan näytteiden analysointi vaatii päteviä laboratorio-tutkijoita, jotka pystyvät suorittamaan identifioinnit sekä luokittelut ja myös tulkitsemaan riippuvuudet.

3.1.8. Yksinkertaiset meritieteelliset työkalut

Koska kalastuksen kehittämistyössä tarvitaan hyvin suuret määrät havaintotuloksia, täytyy syvänmeren tavanomaista meritieteellistä tutkimustekniikkaa, joka vaatii kalliita aluksia ja kalliita laitteita, täydentää yksinkertaisemmillä menetelmillä.

Rannikonläheisissä vesissä voidaan suorittaa monia tutkimuksia käyttämällä paikallisilla kalastusaluksilla tai jopa huvipursilla kevyitä vinttureita, tavanomaisia planktonhaaveja, termografeja, vedennoutimia ym. Suuret kauppalaivat voivat kerätä tietoja aavanmeren peitekerroksesta Hardyn planktoninrekisteröijällä, hinattavilla lämpötilanrekisteröijillä ym.

Eräiden uusimpien keksintöjen avulla voidaan aivan erikoistumattomallakin laivalla, jolla tosin ehdottomasti tarvitaan tutka, suorittaa syvänmerentutkimuksia, jotka näihin aikoihin saakka olivat vaikeat tehdä erikoisaluksillakin. Kysymyksessä ovat äskettäin kehitetyt suhteellisen halvat noutimet ja muut laitteet, jotka toimivat automaattisesti ilman yhteyttä itse alukseen. Ne ovat niin pieniä, että pari miestä pystyy käsittelemään niitä. Ne voidaan heittää sarjana yli laidan ja poimia myöhemmin merestä takaisin. Noutimien löytämiseen tarvitaan melkein välttämättömästi tutka, paitsi kun ollaan merivirrattomilla alueilla jokseenkin tyvenessä. Näiden laitteiden joukossa on tutkimustarkoituksiin soveltuva pohjakala-ansa, jota voidaan käyttää 5 000 metrin syvyyteen asti, rekisteröivä virtamittari, jota voidaan käyttää pohjalla ja pohjan lähellä suunnilleen 3 000 metrin syvyyteen asti, omalla painollaan pohjalietteeseen porautuva pohjannoudin, mielivaltaisessa syvyydessä käytettäväksi soveltuva pitkäsiima, sekä laskuvarjoaavit, joiden suun halkaisija on 10—30 metriä ja

jotka ottavat näytteen planktonista ja pienikokoisesta nektonista 3 000 metrin syvyydestä pintaan asti. Kehitteillä ovat myös samalla periaatteella toimiva merenpohjan kamera, suuret vedennoutimet ym., joiden käyttö tulee varsin halvaksi. Voidaan jopa väittää, että niiden avulla tulee yksinkertaisestakin tutkimusaluksesta eräissä suhteissa tehokkaampi toimintayksikkö, kuin mitä suurvaltojen teknillisesti monipuolisemmat merentutkimusalukset ovat olleet näihin aikoihin asti.

Monet eliöt — näiden joukossa myös eräät pyynnin kohteina olevat kalat — jotka korkeammilla levyasteilla elävät lähellä merenpintaa, näyttäisivät kokonaan puuttuvan alemmilta leveysasteilta, koska niitä ei saada ainakaan pintavesistä. Joissakin tapauksissa ne ovat kuitenkin ilmeisestikin vain laskeutuneet syvemmälle, mistä niitä ei voida pyytää tavallisin menetelmin. Tämä on voitu osoittaa pohjakala-ansoilla ja hyvin suurilla laskuvarjohaaveilla. Eräiden merieläinten populaatioista näyttääkin olevan merenpinnan lähellä olevissa kerroksissa vain vähäinen osa, kun taas pääosa on tuntemattomissa ja tutkimattomissa syvemmissä kerroksissa.

3.1.9. Meren laiduntaminen

Usein sanotaan, että kalastuksen menetelmät eivät ole paljonkaan kehittyneet ihmiskunnan metsästysasteen jälkeen ja että kalastuksen tilalle nyt tarvittaisiin merien viljelyä. Vähitellen aletaan kuitenkin ymmärtää, että kalastuksen perusongelmat muistuttavatkin luonteeltaan paljon enemmän avoimella kedolla laiduntavan karjan hoitamista kuin konsanaan maanviljelystä. Kalastuksen yhteydessä on välttämätöntä huolehtia tasapainon säilymisestä eri kalalajien kesken, koska muuten ne lajit, joita emme halua pyytää, saavat ylivallan meille arvokkaammista lajeista. Meidän täytyy myös oppia jalostamaan parempia kalalajikkeita. Meidän on opittava pitämään kurissa petokalat ja taudit, jotka kilpailevat kanssamme meren viljasta. Kenties keksitään vielä, miten mereen voidaan lisätä elintärkeitä aineosia pieninä määrinä meren laiduntun hedelmällisyyden lisäämiseksi samaan tapaan, kuin millä australialaisten on onnistunut laajentaa lampaanhoitoalueitaan lisäämällä maaperään kobolttia.

Ainakin muutamissa tapauksissa jonkin tietyn kalalajin selektiivisen pyynnin seurauksena lajin mahdollisuudet menestyä olemassaolon taistelussa muuttuvat. Esimerkiksi sardiinin pyynti Kalifornian rannikolla, missä muita kaloja ei pyydetty juuri lainkaan, sai aikaan sardellikantojen suuren kasvun.

Vielä tänäänkin kohdistuu suuri osa kalastustutkimuksesta vain jonkin tietyn, jo kalastetun kalalajin tutkimiseen, mikä työ siis tapahtuu melkein kuin ekologisessa tyjiössä. Nykyistä tutkimustyötä täytyykin laajentaa pyynnin kohteina olevien kalakantojen tutkimuksesta niiden kanssa samalla tuotantobiologisen ketjun tasolla ravinnosta kilpailevien muiden kalalajien tutkimiseen. Tällaisen tutkimuksen tehtävänä tulee olla selvittää

a) ravintoon kohdistuvan kilpailun merkitys eri kalakannoille sekä

b) keskenään ravinnosta kilpailevien kalakantojen potentiaaliset mahdollisuudet täyttää pyynnin kohteena olevan kalakannan jälkeen osittain tyhjentyvä paikka.

Tämä tutkimus saattaa johtaa siihen, että samasta ravinnosta keskenään kilpailevia kalakantoja voidaan ruveta verottamaan tasaisemmin. Tällöin saadaan vähitellen aikaan luonteeltaan nykyistä vakaampi kalastus, joka kohdistuu tuotantobiologisen ketjun erääseen tasoon kokonaisuudessaan eikä vain johonkin tai joihinkin kalalajeihin.

3.2. Meren muut hyödykkeet

Tarkastelua varten voidaan meren muut hyödykkeet ryhmittää seuraavasti:

- (1) meriveteen liuenneet aineet,
- (2) syvänmeren pohjalle kerrostuneet lietteet ja nodulit (eli myhkyt),
- (3) mannerhyllyn jähmettyneet ja jähmettymättömät lietteet.

3.2.1. *Liuenneet aineet*

Merivedessä on liuenneina monia niistä hyödykkeistä, joita kemiallinen teollisuus tarvitsee. Mutta toistaiseksi ei ole laadittu luotettavaa ja rohkeata arviota niiden käyttömahdollisuuksista. Ruokasuolan ohessa ainoastaan bromia ja magnesiumia otetaan merivedestä, niitäkin toistaiseksi vain hyvin vaatimattomasti. Tuskin minkäänlaista tutkimusta on käynnissä magnesiumin käytön laajentamismahdollisuuksista. Olisiko mahdollista kehittää teollisia menetelmiä meriveden käsittelemiseksi nykyistä tehokkaammin? Olisiko mahdollista luoda nykyistä suurempi magnesiumin tarve? Voisiko magnesium joissakin tapauksissa kilpailla tehokkaasti alumiinin kanssa? Mitkä olivat erilaisia teollisia käyttötapoja ajatellen niiden magnesium- ja toriumseosten erikoisominaisuudet, joita muutama vuosi sitten käytettiin? Merivedestä voitaisiin helposti eristää rubidiumia ja kesiumia varsinkin niissä tapauksissa, jolloin muutenkin käsitellään suuria merivesimääriä, kuten erityisesti juomavesilaitoksissa. Mikä olisi näiden aineiden nykyinen ja tuleva tarve? Jos kehitettäisiin taloudellisesti edulliset menetelmät niiden eristämiseksi merivedestä, mihin toimenpiteisiin ryhtyisivät niiden nykyiset tuottajat?

Joka tapauksessa olisi edullista yhdistää kemiallinen tehdas juomavesilaitokseen, joka puhdistaa meriveden suolattomaksi vedeksi. Yksi pumppusarja riittäisi palvelemaan molempia laitoksia. Lisäksi juomavesilaitoksen suolainen »jätevesi» olisi tässä tapauksessa jo valmiiksi rikastettu kaksin- tai jopa nelinkertaiseksi kemiallisen tehtaan käyttöön joutuessaan.

Lähes tutkimattomaksi on jäänyt mahdollisuus käyttää eliöitä, erityisesti mikroeliöitä eri alkuaineiden, kuten raudan, kuparin, uraanin, sinkin ja jodin rikastamiseen.

Tällaisten mahdollisuuksien hyväksikäyttö edellyttää monia tärkeitä oivalluksia ja ennen kaikkea uutta tietoa perustutkimuksen, soveltavan tieteen ja tekniikan aloilla. Vaatimaton osa niistä varoista, jotka nykyisin käytetään tutkittaessa menetelmiä tehdä merivedestä juomakelpoista, voitaisiin ohjata näihin tarkoituksiin.

Merestä saatavien hyödykkeiden joukkoon kuuluvat myös mm. agar-agar, turskaöljy ja muut kalaöljyt, karrageeniute, spermaseettiöljy, iktyoli sekä erilaiset jodin, magnesiumin ja bromin yhdisteet. Johtunee vain asiantuntemattomuudesta, että useampia merestä saatavia tuotteita ei käytetä hyväksi lääketeollisuudessa.

Useat tutkijat ovat viime vuosikymmenen kuluessa todenneet meren eliöiden sisältävän antibiootteja. Heidän keksintöjensä kiihtyvä tahti viittaa siihen, että nykyinen tietämyksemme meren eliöiden biokemian soveltamisesta farmakologiaan on vähäinen verrattuna kaikkeen siihen, mitä vielä keksitään. Antibiootit saattavatkin muodostua meren tärkeäksi luonnontuotteeksi.

3.2.2. Syvänmeren pohjalle kerrostuneet lietteet ja nodulit

Valtamerten syvien alueiden pohjan aines, jolla voi olla taloudellista merkitystä, sisältää seuraavat summittaisesti arvioidut määrät erilaisia hyödyllisiä kaivannaisia:

Lähtöaine	Arvioitu määrä tonneina	Mielenkiinnon kohteena olevat aineet
Mangaanimyhkyt	10 ¹²	Mangaani kupari koboltti nikkeli molybdeeni vanadiini sinkki zirkonium
Fosforiittimyhkyt	10 ¹⁰	Fosfori zirkonium
Globigerinalieju	10 ¹⁴	Kalsiumkarbonaatti
Piilevälieju	10 ¹³	Piidioksidi
Punainen savi	10 ¹⁵	Kupari alumiini koboltti nikkeli
Bariumsulfaatin rikastumat	?	Bariumsulfaatti
Magneettiset kuulat	?	Nikkeli rauta

Valtamerten syvien alueiden pohjalta löytyy uskomattoman suuret määrät — luultavasti suunnilleen biljoona tonnia eli noin 200 000 kiloa maapallon jokaista asukasta kohti — mustia, perunanmuotosia myhkyjä, jotka sisältävät 25—30 % mangaania ja toisinaan jopa niin paljon kuin 1 % kobolttia, kuparia tai nikkeliä. Nämä kerrostumat kasvavat nopeammin, kuin mitä ihmiskunta ehtii kuluttaa niissäkin olevia metalleja. Näin nämä myhkyt muodostavatkin luonnonvarojen *uusintuvan* lähteen, koska ne kasvavat nopeammin, kuin mitä niitä voitaisiin käyttää. Niiden oletetaan joutuvan

kaivostoiminnan kohteiksi yhden tai kahden vuosikymmenen kuluessa. Eräät asian-tuntijat väittävät, että mangaanimyhkyjen keräämiseen perustuva kaivostoiminta kannattaisi jo nyt, koska niiden keräyksen ja käsittelyn automaatio on suoritettavissa alhaisin kustannuksin. Mangaanimyhkytonnin nykyiseksi myyntihinnaksi arvioidaan 150—350 markkaa.

Näiden luonnonvarojen hyväksikäyttö edellyttää hyvin laajamittaista toimintaa: yhden toimintayksikön on pystyttävä keräämään 5 000 tonnia mangaanimyhkyjä päivässä, mikä vastaa noin 400 miljoonan markan vuotuista bruttotuotantoa. Tällaista toimintaa ei voida ajatellakaan, ennenkuin on hankittu riittävästi perusaineistoa, johon nojautuen teknilliset ratkaisut voidaan suorittaa. Näihin kuuluu myös välttämättömästi tarvittava tietämys siitä, miksi myhkyjen koostumus ja runsaus on erilainen eri merialueilla. Mangaanimyhkyesiintymien lupaavasta luonteesta huolimatta kaivos-teollisuus on edennyt tällä alalla hitaasti, mikä johtuu ratkaisemattomista teknillisistä ongelmista ja vastausta vailla olevista tieteellisistä kysymyksistä.

Toistaiseksi suoritettut tutkimukset ovat osoittaneet, että vaikka mangaanimyhkyjä esiintyykin hyvin laajoilla alueilla, niiden esiintymisrunsaus vaihtelee. Myös niiden kemiallinen koostumus vaihtelee, vieläpä varsin paljon. Myhkyt näyttävät yleensä olevan pohjan ja veden rajapinnassa. Syvemmältä pohjalietteestä löytyy koostumuksestaan saman tapaisia pieniä jyväsia, ns. mikronoduleja, joiden halkaisija on alle 1 mm.

Nykyinen tietämys mangaanimyhkyjen levinneisyydestä ja koostumuksesta on riittämätön laajamittaisen teollisuustoiminnan aloittamiseksi, varsinkin kun se perustuu vain eri tahoilla pohjannoutimilla otettuihin näytteisiin ja muutamien valokuvien merenpohjasta. Näytteitä on otettu Tyynen valtameren alueella tiittävästi vähemmän kuin 150 kappaletta, mikä vastaa suunnilleen yhtä näytettä miljoonan neliökilometrin suuruiselta alueelta. Toistaiseksi ei tiedetä mitään varmaa mangaanimyhkyjen esiintymisen alueellisesta jatkuvuudesta eikä myöskään mitään niiden koostumuksen vaihteluista pienillä alueilla. Aikaisempien pistenäytteiden lisäksi tarvitaan siis myös jatkuvia näytteitä, joiden avulla voidaan selvittää myhkyjen alueellista esiintymistä.

Riittävän jatkuvien näytteiden ottamiseksi on ehdotettu halpojen, vapaasti putoavien, automaattisten noudinten suunnittelemista. Noutimet pudotettaisiin sopivan tihein välein tutkimusalueelta. Ne vajoaisivat pohjalle, ottaisivat näytteet pohjasta ja ottaisivat myös valokuvan. Kun noutimeen kiinnitetty paino irtoaisi, noudin nousisi pinnalle, mistä tutkimusalue kävisi sen hakemassa. Yksinkertaisimmin tämä tapahtuisi käyttämällä varsinaisen johtoaluksen lisäksi apualusta, jolta noudinten kerääminen suoritettaisiin.

Näin menetellen saataisiin näytteet kurssia pitkin, ja jatkuvuutta rajoittaisi vain laitteiden pudotustiheys. Kahden samansuuntaisen sarjan avulla saataisiin riittävästi tietoja merenpohjan pinoisuusalueen yksityiskohtaista geologista kartoitusta varten.

Fosforiittimyhkyjä löydetään monin paikoin varsinkin mannerhyllyn ulkoreunoilta ja myös avomerellä olevilta matalikoilta. Ne esiintyvät paljon matalammassa vedessä kuin syvänmeren mangaanimyhkyt. Yksistään eteläisen Kalifornian ulkopuolella olevan matalan, rajoitetun merialueen pohjalla arvioidaan olevan 50—60 miljoon-

naa tonnia fosfaattipitoisia kivennäisiä. Nämä merelliset esiintymät ovat lähinnä rinnastettavissa maalla tavattaviin heikkolaatuisiin fosfaattiesiintymiin. Sen jälkeen, kun niistä on poistettu fosfaattia sisältämätön aines, jäljelle jäävästä aineksesta on vain 31—32 % fosforipentoksidia. Korkealaatuissa fosfaateissa vastaava luku on 36—38 %. Tämä puute ei kuitenkaan ole suuri, sillä maailmassa markkinoidaan vuosittain jo nykyisinkin heikkolaatuista fosfaattia noin 30 miljoonaa tonnia ja korkealaatuista vain noin 12 miljoonaa tonnia. Suoritetut analyysit ovat valitettavasti osoittaneet, että meressä olevissa esiintymissä on metallisia epäpuhtauksia runsaammin kuin maalta saatavissa, mikä vähentää niiden arvoa ehkä 3 markalla tonnilta, toisin sanoen noin 40 markkaan tonnilta laivaussatamaan toimitettuna.

Myös esimerkiksi Australian ja Intian ulkopuolelta löydetty fosfaattiesiintymät ovat lupaavia. On arvioitu, että näiden luonnonvarojen perusteella voitaisiin vuosikymmenen kuluessa saada käyntiin vuotuiselta bruttoarvoltaan 10—20 miljoonan dollarin suuruinen uusi teollisuus. Vedenalaisten fosfaattiesiintymien maailmanlaajuinen etsiminen sekä niiden synnyn mekanismin ja siihen vaikuttavien tekijöiden tutkiminen maksaisi useita miljoonia dollareita vuodessa, mutta sijoitus osoittautuisi siis erittäin kannattavaksi.

Voidaan olettaa, että edellä ollessa taulukossa mainitut muut lähtöaineet eivät joudu teollisuuden vakavan mielenkiinnon kohteiksi vielä pitkään aikaan. Tosin juuri nyt on heräämässä rajoitettu kiinnostus eräisiin globigerinaliejuihin, jotka voidaan rinnastaa ASTM I ja II tyyppisiin portlandsementteihin. (Maailmanmarkkinoilla olevasta sementistä on nykyisin suurin osa jälkimmäistä tyyppiä.)

Meksikon lahdella suoritetut tutkimukset näyttävät osoittavan, että Sigsbeen syvänteessä on ryhmä vuorisuolakupoleja. Jatkotutkimukset tällä alueella saattavat johtaa siihen, että syvänmeren pohjan luonnonvarojen luetteloon voidaan lisätä öljy-, kaasu- ja rikkiesiintymät.

Useiden eristettyjen merenaltaiden sedimenteissä tavataan runsaasti sulfideja. Tällaisia ovat esimerkiksi Musta meri, Cariacón hauta Venezuelan edustalla ja luultavasti myös Kalifornian lahti. Jatkotutkimukset tällaisilla alueilla saattaisivat johtaa sulfidimineraalien taloudellisesti kannattavaan rikastamiseen, varsinkin jos sivutuotteena voitaisiin saada radioaktiivisia alkuaineita.

3.2.3. *Mannerhyllyn kerrostumat*

Nykyisin käytetään mannerhyllyn luonnonvaroista — myös Itämeri on oikeastaan kokonaan laskettava mannerhyllyn alueeksi — ennen kaikkea öljyä, luonnonkaasua ja jonkin verran rikkiä. Laajaa kansainvälistä mielenkiintoa herättää juuri nyt laajojen luonnonkaasuesiintymien löytyminen Pohjanmeren alta. (Mielenkiinto Itämerenkin tutkimiseen tässä suhteessa on lisääntynyt sen vuoksi, että Saksan ja Puolan rannikoilla on tavattu öljyä.)

Sen sijaan mannerhyllyn monet muut todennäköisesti hyvin arvokkaat esiintymät ovat toistaiseksi saaneet osakseen vain suhteellisen vähän huomiota. Näitä ovat ne

mereen vajonneiden rantatasanteiden ja mannerhyllyn muiden alueiden sora- ja hiekkakerrostumat, jotka sisältävät arvokkaita kaivannaisia. Eräänä esimerkkinä mainittakoon Afrikan lounaisrannikon ulkopuolella olevat timantteja sisältävät sorat, joista saadaan timantteja keskimäärin noin viisi karaattia tonnilta eli noin viisi kertaa niin paljon, kuin mitä normaalisti löydetään Etelä-Afrikan timanttikentiltä. Toistaiseksi löydetystä timanteista suurin osa on jaloja, joista saadaan myös korkeimmat hinnat. Nykyinen tuotanto vastaa tiettävästi jo noin 15 000 dollaria päivässä.

Viime aikoina Nomen ja Juneaun edustalla Alaskan rannikolla suoritettut malminetsinnät viittaavat kultatipitoisen hiekan huomattavan suuriin meriesiintymiin, joiden hyväksikäyttö alkanee lähitulevaisuudessa. Malesiassa, Thaimaassa ja Indonesiassa on käynnissä rannikonläheisten merenpohjien haraus — 40 metrin syvyyteen saakka — tinamalmien nostamiseksi mereen vajonneilta rantatasanteilta ja alluviaalisista kerrostumista. Samanlaisia vedenalaisia kerrostumia löytyy myös Cornwallin ulkopuolelta mannerhyllyltä. Japanin rannikolla nostetaan matalasta vedestä suoraan laivoihin magnetiittipitoista hiekkaa. Neljän viime vuoden aikana japanilaiset ovat keränneet Tokion lahdelta 7 miljoonaa tonnia suhteellisen korkealaatuista rautamalmia. Japanilaiset käyttävät myös muita magnetiittikerrostumia rantavyöhykkeellä, jonka leveys on muutamia kilometrejä ja jolla vesi syvenee noin 30 metriin saakka. Työn tuloksena saadaan useita tuhansia tonneja rikastetta kuukaudessa. Japanin esiintymien kaltaisia raudasta rikkaita hiekkalaatuja sekä myös kromiittia sisältävää hiekkaa on Alaskan ulkopuolella tuntemattomia määriä. Titaanihiekkaa uskotaan löytyvän merestä Floridan, Intian, Ceylonin, Japanin ja Australian rannikoilta. Mannerhyllyltä Brasilian ja Intian rannikolla löytyy toriumia ja harvinaisia maa-alkalimetalleja sisältävää monatsiittihiekkaa.

Kaikilla niillä alueilla, missä nykyiset rantahiekat sisältävät arvokkaiksi osoittautuvia kaivannaisia, voidaan olettaa myös kauempana ja syvemmällä olevien muinaisten rantahietikkojen sisältävän samanlaisia, pleistoseenian alhaisen vedenkorkeuden aikana muodostuneita muinaisia hiekkarantoja.

Jos merigeologiseen ja -mineralogiseen tutkimustyöhön sijoitettaisiin varoja esimerkiksi noin 10 miljoonan markan verran vuodessa nimenomaan mannerhyllyn uusien mineraaliesiintymien löytämiseksi, voitaisiin tulosten perusteella noin vuosikymmenessä saada aikaan ainakin noin 150 miljoonan markan suuruinen vuosituotanto. Varoja täytyisi kuitenkin sijoittaa, paitsi itse merimineralogiseen tutkimustyöhön, myös teknilliseen kehitystyöhön ja laitteiden hankintaan. Tästä syystä vain osan hyödyistä, kenties 30 %, voitaisiin katsoa johtuvan suoritetusta merentutkimustyöstä.

3.3. Pitkäaikaiset sääennusteet

Viime aikoina suoritettut meteorologiset tutkimukset osoittavat, että viikkojen ja jopa vuosien aikaskaalassa esiintyvät säätilojen suurmuutokset johtuvat merien pinta-kerrosten lämpötilan jakautumisesta tapahtuvista muutoksista. Näiden tapahtumien

välillä vallitsee ilmeinen vuorovaikutus. Tutkimuksen toteamat riippuvuudet osoittavat, että sään pitkäaikaisen ennustamisen tason olennaiseksi parantamiseksi on välttämätöntä oppia ymmärtämään meren ja ilmakehän suurimittakaavaisen vuorovaikutuksen mekanismit. Yhtä selvää on, että ennusteiden osuvuuden tason parantamisella olisi suuri taloudellinen merkitys kylvöjen ja sadonkorjuun suunnittelulle, polttoainesten kuljetusten ja varastoinnin järjestämiselle, tien- ja muun rakennustoiminnan suunnittelulle, varautumiselle tulviin ja kuiviin kausiin ym. Koska näistä näkökohdista ei yleensä olla riittävästi selvillä, on niitäkin syytä valaista muutamain esimerkein.

Tulvien aiheuttamia vahinkoja voitaisiin vähentää laskemalla säännöstelylaitaiden vedenkorkeutta ennen suurten sateiden tuloa tai lumen sulamisen alkua. Seuraavissa töissä saataisiin aikaan kustannusten säästöjä, jos työvoiman ja kaluston käytölle voitaisiin järjestää sään vaihteluita vastaavat aikataulut: rakennustyöt, maanteiden rakennus- ja korjaustyöt, puhelin- ja lennätinkaapelien asennukset, vesijohto- ja viemäröintityöt, patorakennukset ym. Lämmitykseen ja ilmastointiin käytettyjen polttoainesten ja sähköenergian aiheuttamia kustannuksia voitaisiin alentaa, jos viranomaiset ja polttoainesten tuojat ja tuottajat voisivat nojata tuotannon, kuljetuksen ja varastoinnin luotettaville ennusteille siitä, onko tiedossa leuto vai ankara talvi ja lämmin vai viileä kesä. Kauppapuutarhoissa osattaisiinkin svattaa oikeita vihanneksia oikeaan aikaan, jos tiedettäisiin ennalta eri alueiden säiden aiheuttamat erilaiset kasvuolot. Vihannesten kaupasta ja käsittelystä huolehtivat yrittäjät säästäisivät suuria summia, jos he voisivat ajoittaa toimenpiteensä eri viljelyalueiden satojen odotettavissa olevien määrien ja laadun perusteella. Hedelmänviljelijät ja -pakkaajat sekä viininviljelijät voisivat ajoittaa sadonkorjuu- ja käsittelytoimenpiteensä. Nautakarjan- ja siankasvattajat pystyisivät nykyistä paremmin arvioimaan ennalta rehun määrän ja hinnat sekä laidunmaiden tuottavuuden. Hiihtokeskusten pitäjät tietäisivät, milloin he seuraavana talvena tarvitsevat lumiautoja ja milloin kuorma-autoja lisälumen tuomiseksi. Sveitsin ja Kreikan hotellinomistajat voisivat laatia suunnitelmansa vilkkaan tai laimean turistesesongin vaatimusten mukaisesti. Jokainen perhe tietäisi jo etukäteen, milloin ja missä olisi edullisinta viettää lomaa. Jne.

Vuosina 1946—60 olivat tulvien aiheuttamat vahingot yksistään Yhdysvalloissa yhteensä 4,2 miljardia dollaria eli siis keskimäärin 280 miljoonaa dollaria vuodessa. Nykyistä paremmat pitkäaikaiset sääennusteet saattaisivat vähentää tuota summaa 25—50 prosentilla eli siis 70—140 miljoonalla dollarilla vuodessa yksistään Yhdysvalloissa.

Erilaisten rakennustöiden kustannuksista muodostavat varsinaiset työ kustannukset suunnilleen kolmanneksen. Jos työvoiman ja laitteiden käyttöä voitaisiin tehostaa viidellä prosentilla — laatimalla siis pitkäaikaisten sääennusteiden avulla nykyistä paremmat aikataulut eri työnsuoritusvaiheille — säästöt olisivat maapallon lauhkeiden vyöhykkeiden maissa useita miljardeja dollareita vuodessa.

Noissa maissa lämmitys- ja ilmastointimenot edustavat noin neljännestä polttoainesten ja sähköenergian aiheuttamista kustannuksista. Pitkäaikaisten sääennusteiden avulla voitaisiin todennäköisesti saavuttaa noin viiden prosentin säästö kivi-

hiilen, öljyn ja luonnonkaasun tuotannon, öljynpuhdistuksen, rautateitse, laivoilla ja putkia myöten tapahtuvan kuljetuksen sekä varastoinnin kustannuksissa. Nämäkin säästöt merkitsisivät ainakin miljardia dollaria vuodessa.

Euroopan, Neuvostoliiton, Pohjois-Amerikan ja Japanin viljelijöiden vihannesten, perunan, hedelmien ja viinin vuotuinen tuotanto on arvoltaan suunnilleen 10 miljardia dollaria. Käsittely ja markkinointi nostavat arvon ainakin kaksinkertaiseksi. Paremmen suunnittelun ja ajoituksen avulla saavutettavissa oleva viiden prosentin säästö merkitsisi jälleen ainakin miljardia dollaria vuodessa.

Maissi-, kaura- ja heinäsadon suuruuden vaihtelut, jotka johtuvat säistä, aiheuttavat vakavia taloudellisia seurauksia karjanhoidon harjoittajille. Sama koskee myös vuodenaikaissateiden erilaisen jakautumisen vaikutuksesta tapahtuvia muutoksia laidunmaiden tuottavuudessa. Suuria säästöjä voitaisiin aikaansaada, jos karjankasvattajat voisivat suunnitella karjanruokinnan, teurastukset ja markkinoinnin luotettavien pitkäaikaisten sääennusteiden perusteella. Viiden prosentin säästöt merkitsisivät tässäkin tapauksessa suunnilleen miljardia dollaria vuodessa.

Maapallon arovyöhykkeiden maanviljelijöiden satojen onnistuminen riippuu kokonaan vaihtelevista ja epävarmoista sateista. Vuodenaikaissateiden pätevistä ennusteista olisi heille suunnaton hyöty, koska he voisivat niiden perusteella päätellä, mitä kunakin vuonna on viisainta viljellä ja mihin aikaan kylvöt on edullisin suorittaa, vai onko jonakin vuosina viisainta jättää kylvöt tekemättä.

Vaikka esitetyt taloudelliset arviot ovat varsin karkeat, on varmaa, että nykyistä parempia pitkäaikaisia sääennusteita käyttäen maanviljelijät, polttoaineiden tuottajat, rakentajat ym. voisivat säästää vuosittain ainakin viisi miljardia dollaria, kenties vielä hyvin paljon enemmänkin. Tässä arvioinnissa ei ole otettu huomioon niitä säästöjä, jotka olisivat aikaansaattavissa turismiin ja vapaa-ajan viettoon liittyvien elinkeinohaarojen parissa.

Ilmameri, jossa elämme, ja meri allamme ovat suuren höyrykoneen toisiinsa liittyviä komponentteja. Tämä höyrykone siirtää lämpöenergiaa maapallon lämpimimmistä osista kohti pohjoista ja etelää, missä se säteilee avaruuteen. Noin kolmannes ilmakehän energiasta on peräisin vesihöyrystä, joka haihtuu merien pinnalta ja sitten tiivistyy ilmakehässä. Osa ilmakehän muustakin energiasta tulee meristä, nimittäin johtumalla lämpimistä meristä viileään ilmaan. Haihtuminen ja lämmönjohtuminen eivät suinkaan tapahdu tasaisesti samalla tavalla kaikkialla merissä. Energian vuo meristä ilmakehään ei ole vakainen edes saman leveysasteen piirissä. Se on suuri siellä, missä pilvipeite on vähäinen, sekä alueilla, missä merenpinnan ja ilmakehän alimpien kerrosten lämpötilojen välinen erotus on suurin.

Alueet, joilla merenpinnan ja ilman välinen lämpötilaero on suurin, vaihtelevat alati sekä sijainniltaan että intensiteetiltään. Vastaavasti myrskyjen syntymisalueet ja niiden radat näyttävät muuttuvan merenpinnan lämpötilojen muutosten mukaan. Meren suuren lämmönvaraamiskyvyn ja massiivisen jatkuvuuden vuoksi muutokset siinä tapahtuvat varsin hitaasti. Viikkojen ja jopa vuosien aikaskaalassa esiintyvien

säätyyppien pysyvyys ja muutosten hitaus johtuvatkin ilmeisesti ainakin osittain juuri merien tapahtumien hitaudesta.

Sään pitkäaikaisen ennustamisen tason nostaminen riippuu kokonaan siitä, miten voidaan oppia ennustamaan mainittujen »pysyvien säätyyppien» muutokset. Koska näiden säätyyppien olemassaolo suureksi osaksi riippuu merien tapahtumista, niissä tapahtuvien muutosten ymmärtämiseksi ja ennustamiseksi on opittava ymmärtämään meren ja ilmakehän välisen suurimittakaavaisen vuorovaikutuksen mekaniikit.

Viime aikoina suoritettut tutkimukset ovat siis osoittaneet, että ilmakehän kiertokulun anomaliat — poikkeamat sen hetken keskimääräisistä oloista — johtuvat suureksi osaksi merenpinnan lämpötilan anomaliaista. Esimerkiksi kylmältä alueelta puhaltavien tuulien voimistuminen aiheuttaa merestä ilmakehään tapahtuvan lämmönjohtumisen ja myös haihtumisen kiihtymisen ja samalla piilevän haihtumislämmön siirtymisen nopeutumisen. Samalla myös meren ylimmät kerrokset sekoittuvat aikaisempaa perusteellisemmin. Molempien tapahtumien vaikutuksesta merenpinnan lämpötila alenee. Se pyrkii kuitenkin palautumaan vähitellen ennalleen seurauksena napoja kohti kulkevien lämpimien pintavirtausten asteittaisesta voimistumisesta. Meritieteen ratkaisemattomien ongelmien joukkoon kuuluu kysymys, millaiset ovat luonteeltaan ja miten nopeasti muuttuvat ne meren tiheyden jakautumiset, jotka aiheuttavat napoja kohti kulkevien merivirtojen voimistumisen.

Meteorologien ja oseanografien täytyy yhdessä tutkia meren ja ilmakehän välisen vuorovaikutuksen eri ilmenemismuotoja. Merien pintakerroksissa suoritettuja jatkuvia mittauksia eri parametrien vaihteluista on verrattava merien pilvipeitteeseen, tuulien ja ilman lämpötilan jakautumista osoittaviin synoptisiin karttoihin. Suuri osa ilmakehästä tarvittavista havainnoista on saatavissa sääsatelliittien avulla, mutta merta koskevat mittaukset on ilmeisestikin suoritettava pääasiassa ankkuroitujen havaintopöjien muodostaman havaintoverkon puitteissa.

Pitkäaikaisten sääennusteiden tason olennaiseen parantamiseen liittyvät käytännölliset päämäärät ovat siis saavutettavissa vain tehostetun oseanografisen ja meteorologisen tutkimuksen avulla. Tästä huolimatta on selvää, että vastuu saavutetun uuden tietämyksen soveltamisesta käytännön säänennustustyöhön jää pääasiassa meteorologien tehtäväksi.

Ilmakehään kohdistuvan nykyaikaisen tutkimuksen ainoana taloudellisesti merkittävänä päämääränä ei kuitenkaan ole vain sääennusteiden tason parantaminen. Voidaan perustellusti toivoa, että planeettamme säätä opitaan eräissä suhteissa säätelemään. Kauhistuttavan tuhoiset trooppiset myrskyt, joita Atlantilla kutsutaan hurrikaaneiksi ja Tyynellä valtamerellä taifuuneiksi, syntyvät aina merellä. Ei ole mahdollista, että näiden myrskyjen syntyminen voitaisiin ehkäistä niiden kehittymisen alkuvaiheessa. Tämä olisi mahdollista, jos keksittäisiin keinot merestä ilmakehään tapahtuvan poikkeuksellisen suuren energianvuon estämiseksi niiden syntymisalueilla. Jos tässä onnistutaan, vuotuiset säästöt ovat yksistään Yhdysvalloissa keskimäärin 140 miljoonaa dollaria vuodessa, sillä juuri näin suuret olivat vuosina 1940—57 hurrikaanien

aiheuttamat keskimääräiset vuotuiset taloudelliset menetykset maan itä- ja eteläosissa. Samana aikana hurrikaaneissa kuoli lähes tuhat ihmistä.

Tässä yhteydessä sopii huomauttaa siitä, että Suomen merentutkimuslaitos jo nyt palvelee käytäntöä ja talouselämää mm. jääpalvelun puitteissa ja myös merialueiden vedenkorkeuden jatkuviin rekisteröinteihin perustuvan ns. hydrografisen vaaituksen avulla, joista kummastakin yhteiskunnalle koituvat säästöt ovat paljon suuremmat kuin koko laitoksen vuotuiset menot.

3.4. Meret kulkuväylinä

Aava meri sekä erottaa kansakunnat toisistaan että myös yhdistää niitä. Teollistumisen asteen lisääntyessä koko maailman raaka-ainevarat joudutaan ottamaan uusien tehtaiden käyttöön. Tästä johtuen meritse tapahtuvan kaupan laajuus yhä kasvaa. Merenkulun tehokkuuden ei kuitenkaan voida sanoa vastaavasti parantuneen. Merirahdit rasittavat edelleenkin maailman taloutta enemmän, kuin mikä olisi välttämättömyyden tontta. Tästä joutuvat köyhät maat kärsimään eniten.

Meritse kuljetetaan muun muassa kivihiiltä, molybdeenä, fosfaattia, magnesiumia, puuta, öljyä, asbestia, tinaa, mangaania, rautamalmia, bauksiittia, kobolttia, nikkeliä, kromiittia, kvartsia ja teollisuustimantteja. Myös elintarvikkeiden laivausten määrä on suurenemassa. Meret ovat raskaan ja tilaa vievän tavaran kansainvälisten kuljetusten tärkein kulkuväylä. Tässä suhteessa tilanne ei voi useiden tulevienkaan sukupolvien aikana muuttua. Kansainvälisen merenkulun tarpeisiin rakennettaneen vuoden 1975 aikoihin 5—10 miljoonaa tonnia uusia aluksia vuodessa. Kenties puolet tästä uudesta tonnistosta on erilaisia säiliöaluksia, joiden rakentamiskustannukset ovat suunnilleen 150 dollaria tonnilta kuollutta painoa, kun taas toinen puoli on eri tyyppisiä muita rahtialuksia, jotka tulevat maksamaan ehkä 250 dollaria tonnilta kuollutta painoa. Laivanrakennuksen vuotuiset kustannukset noussevat siis 1—2 miljardiin dollariin. Nämä kustannukset jäävät tuojien ja viejien sekä näiden merentakaisen asiakkaiden ja hankkijain rasitukseksi.

Merirahdit vaihtelevat tietenkin lastin laadun ja matkojen pituuden mukaan. Nykyisen teknillisen tason mukaan laskien maailman merirahdien määrää nousee vuonna 1975 suunnilleen 15 miljardiin dollariin. Suunnilleen puolet tästä summasta perustuu laivojen kustannuksiin näiden ollessa *merellä*, kun taas toinen puoli johtuu alusten purkauksista ja lastauksista sekä muista toimenpiteistä *satamissa* oltaessa. Pyrkimyksenä täytyy olla molempien kustannustekijöiden vaikutuksen supistaminen.

Merenkulun kustannusten alentaminen palvelisi paitsi kehittyneitä varsinkin alikehittyneitä maita, koska näiden taloudellinen kasvu riippuu mahdollisuuksista viedä merentakaisiin maihin raaka-aineita sekä maanviljelyksen tuotteita ja tuoda teollistumiselle välttämättömiä koneistoja. Merentutkimuksesta on olennaista hyötyä pyrittäessä merenkulun kustannustason alentamiseen tähtääviin toimenpiteisiin. Käyttämällä meriä koskevaa tietämystä voidaan monessa suhteessa tehostaa merien käyttöä mannertenvälisinä kulkuväylinä. Esimerkiksi pinta-aaltojen nykyistä luotettavam-

piin tilastollisiin analyyseihin perustuen pitäisi voida kehittää nykyistä parempia laivatyyppejä ja siten alentaa merenkulun kustannuksia. Aaltojen, tuulien ja merivirtojen ennustamiseen käytettyjen menetelmien kehittäminen johtaisi siihen, että valtamerialukset voitaisiin nykyistä varmemmin ohjata määräsatamiinsa minimiaikaa vastaavaa reittiä myöten, jolloin polttoainekustannukset ja aika merellä supistuisivat. Parannettu reittiohjaus vähentäisi myös myrskyjen aiheuttamia vahinkoja. Yksityiskohtaisemmat tiedot merenpohjan topografiasta johtaisivat karilleajojen ja yhteentörmäysten määrän vähenemiseen. Nykyisten satamien parantamiseen ja uusien satamien suunnitteluun sekä uusien ahtausmenetelmien kehittämiseen tarvitaan uutta tietoa rannikonläheisestä merenkäynnistä, virtausoloista ja merenpohjan luonteesta. Laivojen pohjaan sekä satamalaitteisiin tarttuvien ja porautuvien eliöiden elinvaiheiden, käyttäytymisen ja fysiologian täydellisempi tuntemus johtaisi niiden aiheuttamien suurten vahinkojen vähenemiseen.

3.4.1. Laivanrakennus

Merta kyntävät laivat joutuvat suurimman rasituksen kohteiksi tuulen aiheuttamien pinta-aaltojen taholta. Aaltojen spektri onkin otettava huomioon jo laivansuunnittelun alkuvaiheissa. Aallot aiheuttavat sekä aluksen rungon ankaran läjähdysten sen vajotessa mereen aallonharjan jälkeen että potkurien nousemisen vedenpinnan yläpuolelle, mistä aiheutuu vaarallisia värähdysliikkeitä aluksen rungossa. Alloilla on perustava merkitys myös laskettaessa kuivakyljen korkeutta, aluksen vakavuutta ja rungon lujuutta. Myrskyssä odotettavissa oleva aluksen nopeuden vähentyminen on otettava huomioon laskettaessa polttoaineen kulutusta ja konevoiman tarvetta. Aluksen pituuden ja nopeuden arvot on laskelmissa liitettävä pinta-aaltojen frekvenssikäyrään. Aaltojen energiaspektri, yhtenäisyys ja muuttuvuus ajan funktiona on tunnettava, jotta voitaisiin arvioida aluksen käyttäytyminen aaltojen voiman vaikutuksen alaisena. Tarvitaan nykyistä paljon paremmat tilastolliset tiedot aaltojen edellä mainittujen ominaisuuksien jakautumisesta maailman merillä sekä alueellisesti että ajallisesti, jotta voidaan konstruoida aluksia siten, että lastin ja aluksen painon suhde tulee nykyistä edullisemmaksi ja että yleensäkin voidaan päästä nykyistä ahtaampiin varmuusmarginaaleihin. Nykyinen tilastollinen tietämyksemme aaltojen ominaisuuksista ei ole riittävä edes siihen, että laivanrakentajat ymmärtäisivät koealtaissaan aikaansaamiensa keinoitekoisten merenkäyntiolojen reaalisen vastavuuden todellisessa meressä.

Viime aikoina on kehitelty ajatusta rakentaa erityisaluksia nimenomaan vain jonkin rajoitetun merialueen käyttöön. Näin meneteltäessä voitaisiin saada aikaan tuntuvia säästöjä laivanrakennuksen yhteydessä, koska alukset voitaisiin suunnitella vain niitä aaltoja ajatellen, jotka tuolla tietyllä alueella ovat odotettavissa. Jotta tämä olisi mahdollista, tarvitaan aalloista nykyistä enemmän havaintoja sekä analyysituloksia, joiden perusteella voidaan olla selvillä aaltojen olennaisista ominaisuuksista eri merialueilla.

Toisaalta laivanrakennuksessa päästäisiin nykyistä suurempiin vaihtelumahdollisuuksiin ja säästöihin, jos rahat olisivat riippuvia myös toimitusten nopeudesta, mikä merkitsisi kuljetusten jakamista rahtitavaroihin ja pikatavaroihin. Jälkimmäisiä kuljettettaisiin pika-aluksilla.

Tavanomaisten alusten konstruktiota voitaisiin siis kehittää, jos tunnettaisiin paremmin merenpinnan olot, jolloin saavutettaisiin tuntuvia säästöjä. Myös tavanomaisista alustyypeistä radikaalisti poikkeavien alusten, kuten esimerkiksi pintaliitäjien, kantotasoalusten ja rahti-sukellusveneiden kehittämisen on nojaututtava meren oloja koskevalle fysikaaliselle ym. tietämykselle. Kaupallisiin tarkoituksiin soveltuvien sukellusveneiden kehittämisen tekee erityisen houkuttelevaksi mahdollisuus käyttää niitä kuljetuksiin Pohjoisen jäämeren jäiden alitse. Esimerkiksi matka Lontoosta Tokioon lyhensi 11 200 meripeninkulmasta 6 300 meripeninkulmaan napareittiä käyttäen.

Laivanrakennuksen edistysaskeleet ja erityisesti parannukset laivoilla käytettävissä koneistoissa ovat viime vuosina aikaansaaneet sen, että alusten rakentaminen tulee halvemmaksi lastitonnia kohti laskettuna kuin aikaisemmin. Kustannuksia voidaan edelleenkin alentaa konstruktiota parantamalla. Jos olisi mahdollista aikaansaada 10 prosentin säästöt käyttämällä luotettavia aaltotilastoja, merkitsisi tämä rahassa 100—200 miljoonaa dollaria vuodessa. Jos tästä säästöstä voitaisiin kirjata 30 prosenttia merentutkimuksen tulopuolelle, olisivat tästä johtuvat säästöt lähimmän 20 vuoden aikana nykyhetkeen diskontattuina 175—350 miljoonaa dollaria.

3.4.2. Minimiaiakaa vastaavat reitit; myrskyvahinkojen supistaminen

Jos täysin ymmärrettäisiin aaltoja aiheuttavat voimat, niiden kasvun mekanismit, niiden etenemisen ja vaimenemisen lait sekä aaltojen vaikutus alusten runkoon ja jos lisäksi tunnettaisiin näiden tekijöiden ja niiden seurausten alueellinen ja ajallinen jakautumisen maailman merillä, olisi mahdollista täsmälleen ennustaa kunkin laivan reitillään kohtaamien merenkäyntiolojen vaikutukset. Tällöin alukset voitaisiin ohjata määräsataמינא minimiaiakaa vastaavaa reittiä myöten taikka niiden reitit voitaisiin valita suurinta turvallisuutta ja mukavuutta silmälläpitäen.

Reittiohjausta suoritetaan jo muutamissa maissa, joskin toiminta tapahtuu vielä suhteellisen puutteellisiin tietoihin nojautuen. Minimiaiakaa vastaavan reitin periaatetta käytetään eräiden valtioiden hallinnassa olevassa ja joidenkin yksityistenkin merenkulussa alusten merellä viipymän ajan lyhentämiseksi. 3 000 meripeninkulman matkalla on todettu yleisesti 8 tunnin säästymiä, 5 000 meripeninkulman matkalla 13—15 tunnin säästymiä.

Menetelmä alusten reitin valitsemiseksi minimiaiakaa vastaavaksi on edelleenkin vasta kehityksensä alkuvaiheessa. Jotta edistystä voitaisiin saada aikaan, tarvitaan parannetut menetelmät muun muassa alusten tarkan sijainnin seuraamiseksi, parannettuja viestiyhteyksiä, lisääntyvää luottamusta menetelmään merenkulkijoiden omassa piirissä sekä ennen kaikkea paremmat tiedot tuulista, pintavirtauksista sekä

meren pinta-aaltojen synnystä, etenemisestä, vaimenemisesta ja vaikutuksesta aluksiin.

Olettakaamme, että valtamerialuksen kustannukset matkaamisesta merellä nousevat 3 000 dollariin päivässä. 12 tunnin ajansäästö valtameren ylityksessä vastaisi siis 1 500 dollarin säästymää. Laivojen ohjaaminen minimiaikaa vastaavaa reittiä myöten, olettaen menetelmän tulevan viimeistellyksi ja olettaen sen käytön yleistyvän maailman merillä kulkevien monilukuisten laivojen parissa, johtaisikin siis suuriin säästöihin. Lienee mahdollista, että noin vuonna 1975 olisi saavutettavissa tällä tavalla keskimäärin suunnilleen 10 prosentin eli siis noin 750 miljoonaa dollarin vuosisäästö. Olettaen, että tästä säästöstä 30 prosenttia voitaisiin merkitä merentutkimuksen tilille, nykyhetkeen diskontatut merentutkimustyöstä koituvat säästöt vastaisivat noin 1,4 miljardia dollaria, mikä summa tietenkin moninkertaisesti ylittäisi tarvittavan tutkimuksen kustannukset.

Lisäksi on vielä otettava huomioon mahdolliset säästöt siitä, että alukset eivät joutuisi myrskyihin yhtä usein kuin nykyisin, mikä vähentäisi alusten ja lastin kärsimiä vaurioita. Vuoden 1962 myrskyissä hävisi neljä alusta yhteismäärältään 30 118 bruttorekisteritonnia, kun taas 822 alusta koki osittaisia vaurioita. Myrskyjen välittömästi aiheuttamat vauriot merenkululle noussevat keskimäärin noin 150 miljoonaan dollariin vuodessa, Jos laivat voitaisiin ohjata määräsatamiinsa turvallisempia teitä, voitaisiin myrskyvaurioidenkin osalta säästää ehkä 15 miljoonaa dollaria vuodessa.

3.4.3. Merenkulku ja karilleajot

Vanhoista ajoista lähtien on jokainen merikapteeni pelännyt karilleajoa. Liverpool Underwriters' Associationin tilasto vuodelta 1962 osoittaa tämän pelon edelleen täysin aiheelliseksi, sillä tuona poikkeuksellisen huonona vuonna menetettiin karilleajojen seurauksena 68 alusta — yhteensä 280 732 bruttorekisteritonnia. Lisäksi 925 muuta alusta kärsi osittaisia vaurioita samasta syystä. Yhteentörmäyksissä tuhoutui kokonaan 14 alusta — yhteensä 60 483 bruttorekisteritonnia — ja 1 804 alusta vaurioitui. Merenkulun menetelmien kehittymisestä seuraa karilleajojen luvun väheneminen sekä alusten ja lastien kärsimien menetysten ja vaurioiden supistuminen. Siitä aiheutuu tietenkin myös ajoaikojen supistumista, koska paikanmääritykset voidaan tehdä entistä tarkemmin, ja kenties puutteellisista merenkulkumenetelmistä aiheutuneiden yhteentörmäysten vähenemistä.

Karilleajojen ja yhteentörmäysten vuosittain aiheuttamien taloudellisten menetysten voidaan olettaa vuoteen 1975 mennessä ehtivän nousta noin 500 miljoonaan dollariin. Merenkulkumenetelmien kehittymisestä aiheutuva 20 prosentin vähennys noissa menetyksissä merkitsisi suunnilleen 100 miljoonan dollarin säästöä vuodessa. Tällainen vähennys on mahdollisuuksien rajoissa, mikäli varsinkin merien kartoitukseen ryhdytään kansainvälisten ohjelmien puitteissa nykyistä tehokkaammin.

Lentäjä pystyy varsin usein määrittämään sijaintinsa näkemiensä jokien, vuorijonojen, kurujen, kukkuloiden ym. avulla. Merenkulkija ei yleensä voi toimia samalla

tavalla edes kaikuluotainta käyttäen, koska useimmilla alueilla tiedot merenalaisen maaston yksityiskohdista ovat aivan liian puutteelliset. Ehkä parhaan poikkeuksen tästä säännöstä muodostaa merenalaisten kurujen halkoman mannerhyllyn alue Georges Bank-matalikon edustalla noin 100 meripeninkulmaa itään Cape Codista. Sarja jyrkkäreunaisia merenalaisia kuruja kulkee tuolla alueella Eurooppaa ja New Yorkia yhdistävien laivareittien poikki. Nämä kanjonit on mitannut ja kartoittanut tarkasti U.S. Coast and Geodetic Survey. Euroopasta saapuvien valtamerialusten on tapana panna kaikuluotain käyntiin tälle alueelle saavuttaessa. Kun kaikuluotain osoittaa aluksen kulkeneen ensimmäisen kurun ylitse, todetaan ylityksen yhteydessä rekisteröity suurin syvyys. Vertaamalla tätä syvyyttä karttaan saadaan selville aluksen tarkka sijainti: kurun akseli ilmaisee yhden koordinaatin, kun taas syvyyslukeman avulla saadaan selville, millä kohdalla kuru ylitettiin. Kun sama toistetaan seuraavilla kuruilla, tulevat sijainnit yhä uudelleen tarkistetuiksi, minkä lisäksi samalla saadaan selville myös aluksen tarkka nopeus. Tällaiset paikanmäärittelyt voidaan suorittaa kaikissa oloissa, koska niitä ei häiritse pilvipeite, joka estää tähtitieteelliset paikanmäärittelyt, eivätkä ilmakehän sähköiset häiriöt, jotka toisinaan estävät tarkkojen sijaintiarvojen saamisen elektroniikkaan perustuvien paikanmäärittelyssysteemien avulla.

Huomattava osa maailman merien rantavyöhykkeistäkin on vielä mittaamatta nykyajan vaatimuksia vastaavalla tarkkuudella. Valtameristä on tyydyttävällä tarkkuudella kartoitettu vain vajaat viisi prosenttia. Kun yhä laajempi osa meriä tulee kartoitetuksi tarkkaan, merenkulkijat alkavat yhä suuremmalla luottamuksella käyttää kaikuluotainta paikanmäärittelynsäkin apuna.

3.4.4. Satamalaitteet

Suuri osa niistä kustannuksista, jotka laivaajalla on lastin toimittamisesta merentakaisiin maihin, jää satamiin nimenomaan seurauksena tavarantoimittamisesta maista alukseen ja purkamisesta aluksesta maihin. Näiden satamissa esiintyvien menojen määrän arvioidaan nousevan yli puoleen laivauksien kokonaismenoista. Pienetkin parannukset tässä suhteessa johtaisivat siis tuntuviin säästöihin. Koska kuljetukset merentakaisiin maihin tapahtuvat tänään — ja varmasti myös tulevaisuudessa — vähäisimmin kustannuksin laivoilla, on olennaista pyrkiä alentamaan kustannuksia, jotka liittyvät lastin siirtoihin laivan ja rannan välillä.

Merentutkimusta tehostamalla voitaisiin tässä suhteessa päästä muun muassa seuraaviin tuloksiin: kapeiden salmien ja ahtaiden satamien vuorovesivirtauksien tuntemusta ja ennusteita voidaan parantaa, merikarttojen laatimisessa käytettyjä menetelmiä voidaan kehittää, tutkakuvat ovat liitettävissä satama-alueiden merikarttoihin, satamien konstruktioita voidaan kehittää. Lisäksi pystytään nykyistä tarkemmin ennustamaan pohjalietteen liikunnat ja voidaan kehittää menetelmät sumun sekä jään synnyn estämiseksi taikka hajoittamiseksi satamissa. Kaikki tämä johtaisi tehokkaampiin operaatioihin satamien alueella ja siis myös alentaisi satamissa viipymiseen liittyviä kustannuksia. Saavutettu perustieto tulisi samalla käyttöön myös suunnitel-

taessa uusia satamia, joita tarvitaan maailman kauppamerenkulun alati laajetessa. Myös tulevaisuudessa useimmat satamat ovat alati täynnä laivoja. Suurten alusten ohjaaminen ahtaita väyliä myöten laituriin — tuulen sortamana ja voimakkaiden vuorovesivirtausten viemänä — pysyy aina vaikeana tehtävänä. Väylien madaltumisen, satamavesien likaantumisen ja rannikon keskenään ristiriitaisten käyttötapojen ongelmat jäävät joka tapauksessa suunnilleen ennalleen.

Lisäksi on tarpeen kehittää uusia keinoja massatavaroiden siirtämiseksi maista laivoihin ja takaisin. Öljyteollisuus on jo käyttänyt erästä uutta mahdollisuutta menestyksellisesti: monilla avoimilla rannikoilla öljy siirretään maista säiliöaluksiin puutkea myöten, joka yhdistää rannalla olevan varastosäiliön mereen ankkuroituun poijuun. Samanlaisia putkia voitaisiin käyttää myös eräiden muiden massatavaroiden siirtoon. Maissa on jo osoitettu, että kivihiiltäkin voidaan kuljettaa putkia myöten. Kappale-tavarankin ahtausta on viime aikoina paljon nopeutettu standardisoimalla rahdin pakkaamista, kuljetuslaatikoiden suuruuksia ym. Nämä ja eräät muut mahdolliset uudistukset voivat ratkaista satamaongelmia aivan uudenlaiseen joustavuuteen perustuvilla tavoilla. Monien tällaisten mahdollisuuksien tehokas käyttö edellyttää lisää tietoja rannikonläheisistä aalloista, virtausoloista ja merenpohjan yksityiskohdista. Tämä koskee varsinkin rantaviivan ulkopuolelle johdettavien putkien käyttöä.

Näyttää mahdolliselta, että alusten satamissaviipymisaikaa voidaan lyhentää tulevien 15 vuoden kuluessa noin 20 prosentilla. Tämä merkitsisi merenkululle noin 1,5 miljardin dollarin säästöjä vuodessa. Tämä päämäärä vaatii kuitenkin useiden monitahoisten ongelmien ratkaisemista. Merentutkimuksen avulla voidaan tietenkin parhaassakin tapauksessa ratkaista vain pieni osa puheena olevista käytännön ongelmista. Vaikka oletettaisiin merentutkimuksen suoranaisten osuuden rajoittuvan 10 prosenttiin, senkin aiheuttamat säästöt tulevien 20 vuoden aikana kohoavat nykyhetkeen diskontattuina noin 500 miljoonaan dollariin. Tarvittavan tutkimustyön kustannukset eivät nouse puoleenkaan tuosta summasta.

3.4.5. Tarttuvien ja porautuvien merieläinten aiheuttamien vahinkojen supistaminen

Aluksen runkoon tarttuvien merieläinten ja -kasvien aiheuttama nopeuden hidastuminen sekä puiisiin aluksiin, satamalaitteisiin ym. porautuvien merieläinten aiheuttamat vahingot ovat aina olleet merenkulkijoiden vaivana. Entisinä aikoina kerrotaan aluksen pohjaa joskus peittäneen 15—20 sentin paksuisen orgaanisen kuoren, joka tietenkin hidasti aluksen vauhtia tuntuvasti. Nykyisin suoritetaan alusten pohjan puhdistus ja maalaus myrkyllistä ainetta erittävillä maaleilla kuivatelakoilla siksi usein, että noin suurta kasvua ei enää yleensä esiinny. Mutta vielä nykyisinkin saattaa sentään joskus nähdä usean sentin paksuisen eliöstön tarttuneena aluksen pohjaan, jos tätä ei ole puhdistettu yli puoleen vuoteen ja varsinkin jos alus on viipynyt jonkin aikaa tropiikin satamissa. Hanhenkaulojen ja muiden eliöiden aiheuttama pohjan likaantuminen saattaa vielä nytkin olla niin huomattava, että polttoaineen kulutusta on lisättävä 50 prosentilla, jotta voitaisiin säilyttää aluksen nopeus ennallaan. Aluksen

kasvuton pohja ja siis sileä runko merkitsee vähäisempää kitkaa vedessä ja siis pienempää polttoaineenkulutusta vakinaisella nopeudella ajettaessa.

Aluksen runkoon tarttuvien eliöitä on parhaiten tunnettujen hanhenkaulojen lisäksi muitakin, mm. hydroidit, erilaiset levät, kalkkimadot ja meritupet. Toukka-asteella nämä eliöt uivat vapaasti. Ne tarttuvat satamaan pysähtyneen aluksen runkoon. Jos veden kitka ei riuhtaise niitä irti paikaltaan aluksen lähdettyä liikkeelle, ne pysyvät paikallaan ja kasvavat hidastaen aluksen kulkua olennaisesti.

Aluksiin tarttuvien eliöiden aiheuttamia kustannuksia on viime vuosina voitu alentaa tuntuvasti. Aluksen pohjan käsittelyyn voidaan käyttää maalia tai muovilakkaa, joka sisältää kuparin tai elohopean myrkyllisiä ioneja. Nämä myrkyttävät vedessä olevat eliöt yhden millimetrin päähän asti aluksen pohjasta ja estävät mainittujen toukka-asteisten eliöiden tai itiöiden tarttumisen pohjaan. Toisaalta on huomattu mahdolliseksi pidentää telakointien välistä aikaa laskemalla käytettyjen maaliaineiden tehokas kesto aika eri vuodenaikojen ja eri satamien erilaisia oloja silmälläpitäen.

Merentutkimustyön avulla voidaan edelleenkin vähentää alusten runkoon tarttuvien eliöiden aiheuttamia taloudellisia tappioita. Vastatoimenpiteiden on perustuttava eri eliölajien maantieteellisen levinneisyyden, elinvaiheiden, fysiologian ja käyttäytymisen hyväksikäyttöön. Tämä koskee aivan erityisesti lajeja, joita esiintyy trooppisissa satamissa. Vain tätä tietä edeten voidaan löytää ne heikot kohdat, joita käyttäen mainittujen eliöiden kasvu on tehokkaimmin estettävissä.

Pätevää arviota niistä taloudellisista menetyksistä, joita puheena olevat eliöt aiheuttavat maailman merenkululle, ei liene tehty. Voidaan kuitenkin olettaa sen olevan ainakin 300 miljoonaa dollaria vuodessa. Tuntuu mahdolliselta supistaa näitä vahinkoja noin 25 prosentilla. Eliöiden meribiologisen tutkimuksen rinnalla täytyy edelleen kehittää myrkkyaineita ja muita keinoja niiden kontrolloimiseksi.

San Franciscon lahden pohjoiskärjessä, San Pablon lahdessa aiheutti »meriporaajien» äkillinen, vakava invaasio vuosina 1917—21 lähes kaikkien puusta tehtyjen vedenalaisten rakennelmien pilaantumisen, mistä aiheutui arviolta noin 25 miljoonan dollarin vahingot. *Limnoria*ksi kutsuttu porautuva äyriäinen vaurioitti lähempänä San Franciscon kaupunkia, Treasure-saarella toisen maailmansodan aikana rakennettuja laitureita hyvin pahasti. Käsitlemättömästä eucalyptuspuusta rakennetut satamalaiturien partaat olivat niin täynnä reikiä, että niitä ei voitu enää lainkaan käyttää. Bostonin satamassa jouduttiin 1930-luvun lopulla suorittamaan 5 miljoonan dollarin korjaukset vahinkojen johdosta, joita »meriporaajat» olivat aiheuttaneet satamalaitteille kymmenen vuoden kuluessa. Tästä summasta meni noin 60 prosenttia Yhdysvaltain armeijan Etelä-Bostonin tukikohdan laiturien korjaamiseen. Kaikki nämä vahingot aiheutti vain yksi eläinlaji nimeltään *Limnoria lignorum*. Vuonna 1946 luhistui New Jersey:n valtiossa Manasquanin joen ylitse johtanut Briellesilta seurauksena »meriporaajien» kannatinpilareille aiheuttamista vahingoista.

Varovaisestikin arvioiden voidaan olettaa »meriporaajien» aiheuttavan vuosittain noin 200 miljoonan dollarin tappiot. Kaksi nilviäisryhmää, Teredinidae ja Pholadidae sekä *Limnoria* aiheuttavat suurimman osan niistä tuhoista, jotka vuosittain sattuvat

satamalaiturien, aallonmurtajien, lauttatelakoiden ja muiden satamalaitteiden kokonaan tai osaksi puusta tehdyille osille. Tuhoisimmat ovat luultavasti matosimpukat eli laivatoukat *Teredo* ja *Bankia*. Ne voivat kasvaa puolentoista metrin mittaisiksi ja parin sentin paksuisiksi. Meritieteilijät ovat osoittaneet, että näiden eläinten menestyminen riippuu veden suolaisuudesta, lämpötilasta, ravinnon määrästä, merivirroista, veden likaisuuden asteesta, veteen liunneen hapen määrästä, pH:sta ja veteen liunneen rikkivedyn määrästä.

»Meriporaajien» tuhoja on voitu huomattavasti vähentää varsinkin suorittamalla satamissa käytetyn puun ennakkokäsittely kreosoolilla. Tästä huolimatta on edelleenkin paljon tehtävissä tässäkin suhteessa. On kohtuullista olettaa, että »meriporaajien» aiheuttamien vahinkojen määrää voitaisiin edelleenkin vähentää noin 25 prosentilla kahden vuosikymmenen kuluessa. Tämä edellyttää tehostettua tutkimustyötä puheena olevien eläinten fysiologian ja käyttäytymisen selvittämiseksi niiden eri elinvaiheiden aikana. Lisäksi on tutkittava maapallon eri osissa satamarakenteisiin käytettyjen puulaatujen ominaisuuksia sekä mainittujen eläinten pelottamiseen sopivien aineiden kemiallisia ja fysikaalisia ominaisuuksia.

3.5. Kansanterveys ja hyvinvointi

Otsikko merkitsee tässä tapauksessa myös rannikkovyöhykkeiden luonnonvarojen jatkuvan monipuolisen käytön turvaamista. Muun muassa on välttämätöntä suojata merien rantavyöhykkeet asuma- ja teollisuusjätevesien haittavaikutuksilta. Tosin tuo meriympäristö tietenkin pystyy vastaanottamaan jonkin määrän jätevesiä, ilman että muodostuu haittoja alueen toisille käytöille. Rannikonläheisen meriympäristön merkityksellisistä ja asianmukaisista käyttötavoista onkin tärkeimpiä juuri sen käyttäminen jätevesiä laimentavana ja assimiloivana väliaineena, edellyttäen että ne lasketaan mereen sellaisina määrinä ja sellaisilla tavoilla, että ne eivät aiheuta haittaa sen käytölle nimenomaan kalastukseen ja virkistykseen, puhumattakaan terveydelle vahingollisista suoranaisista vaikutuksista.

Ihanteellisessa tapauksessa olisi asumajätevesien puhdistuslaitosta suunnittelevalla insinöörillä käytössään täydellinen selvitys eri tavoin käsiteltyjen jätevesien vaikutuksista meriympäristössä. Tämä selvitys sisältäisi täsmällisen tiedon jätevesien liikkeistä ja sekoittumisnopeudesta sekä jätevesien aineosien bio- ja geokemiallisista vuorovaikutuksista ympäristön kanssa. Viimeksimainittuihin kuuluvat myös mm. patogeenisten mikro-organismien eloonjäämisen mahdollisuudet meressä sekä jätevesien aineosien vaikutukset meren eliöihin. Näiden tietojen avulla insinööri voisi suunnitella teholtaan optimaaliset asumajätevesien käsittelylaitokset, jotta po. meriympäristön kalastukseen ja virkistykseen ym. liittyviä käyttömuotoja ei vaarannettaisi. Näin tulisivat asumajätevesien käsittelylaitoksen rakentamiseen osoitetut varat käytetyiksi mahdollisimman taloudellisesti. Tässä tapauksessa ei jätevesien käsittelyn ainoatakaan vaihetta suunniteltaisi turhan tehokkaaksi, mikä johtaisi varojen tuhlaukseen, eikä myöskään liian pieneksi, mistä taas olisi seurauksena laitoksen riittämättömyys tarkoitukseensa.

Saniteetti-insinöörien tavanomaiset menetelmät, joita käytetään menestyksellisesti arvioitaessa yhteen suuntaan virtaavien jokivesien kykyä vastaanottaa jätevesiä, ovat riittämättömät vastaavien ongelmien käsittelemiseksi sekä mereen laskevien jokien suissa, missä vuorovedet useimmiten säätelevät mekaanisen sekoittumisen tehokkuuden, että avoimilla rannikoilla. Meiltä puuttuvat vielä tällaisten ongelmien käsittelemiseksi sekä riittävät teknilliset tiedot että perustiedot asiaan vaikuttavien fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten ilmiöiden luonteesta. Suuri osa suoritettavasta tutkimuksesta lankeaa saniteetti-insinöörien työkentän ulkopuolelle, varsinaisen merentutkimuksen alueelle.

Rannikonläheisen merellisen ympäristön meritieteellisen tutkimuksen avulla on selvitettävissä, missä laimennetut asumajätevedet on edullisinta laskea mereen. Samalla selvää, millaiset ja kuinka perusteellisesti suoritettut esikäsittelyt ovat kussakin tapauksessa välttämättömät. Kustannukset siitä, että asumajätevesien purkautumisalueeksi valitaan kauempaa jokin suuren vastaanottokyvyn alue, ovat monissa tapauksissa pienemmät, kuin jos rakennettaisiin epäedullisemmalle alueelle, esimerkiksi johonkin ahdassuiseen sisälahteen täydellisempi jätevesien käsittelylaitos.

Rannikonläheisen ympäristön kyky jatkuvasti vastaanottaa myös teollisuusjätevesiä jollakin nopeudella, ilman että tästä aiheutuu haittoja saman alueen muille käyttäjille, on sinänsä eräs meren luonnonvaroista. Ne tutkimustehtävät, jotka on suoritettava puheena olevan ympäristön fysikaalisista, kemiallisista ja biologisista oloista asumajätevesien sijoitusta ajatellen, antavat vastaukset myös teollisuusjätevesien sijoitusta suunniteltaessa. Näiden harkitsemattomasta laskemisesta jokisuihin ja rannikkovesiin on ollut monissa tapauksissa haitallisemmat seuraukset kuin asumajätevesistä.

Monissa maissa rakennetaan jo nyt atomivoimalaitoksia, useimmiten jokisuihin ja rannikon lahdelmien rannalle. Atomien energian tulevan taloudellisen kehityksen eräänä edellytyksenä voidaan pitää rannikonläheisen meriveden yhä laajenevaa käyttöä voimalaitosten lauhdevetenä. Nimenomaan tästä voi seurata eräiden radioisotooppien pääseminen mereen. Meressä tapahtuvan mekaanisen sekoittumisen eli fysikaalisen dispersion tutkimuksen tuloksia tarvitaan kaikkienkin jätevesien sijoitusongelmien ratkaisemisessa. Ne osoittautuvat välttämättömiksi myös silloin, kun tarkastellaan radioaktiivisten aineiden käyttäytymistä ja vaikutuksia meriympäristössä. Tämä tosiasia merkitsee lisääntyvää tutkimustyötä myös oman maamme merentutkijoille, koska atomivoiman käytäntöön otto maassamme on lähestymässä hyvää vauhtia. Tuossa vaiheessa tarvitaan täsmällistä tietoa myös eri alkuaineiden ja yhdisteiden sedimentoitumisesta meressä, tietoa merivedessä luonnostaan olevien alkuaineiden vaikutuksesta radioisotooppien käyttäytymiseen sekä tietoa meren eri eliöiden vaikutuksista mereen mahdollisesti joutuviin radioisotooppeihin. Kaikki tämäkin merkitsee laajoja ja kiireellisiä tehtäviä kunkin merialueen tutkimukselle.

Monissa maissa vallitsee suuri, alati kasvava merellisten virkistysmahdollisuuksien tarve. Tämä tarve, joka on osittain syntynyt lisääntyvästä vapaa-ajasta, tekee välttämättömäksi laatia uusia suunnitelmia muun muassa satamien rakentamiseksi pikku-

veneille, rannikonläheisen virkistyskalastuksen tehostamiseksi ja sopivien ranta-alueiden kehittämiseksi auringonpalvontaan, uimiseen, vesihiihtoon ja aaltoratsastukseen. Tällaisten alueiden tarve on jo kasvanut monissa maissa niin suureksi, että luonnollista rantaviivaa on jouduttu venyttämään keinotekoisien rakennelmien avulla.

Maista purkautuvien jätevesien aiheuttaman likaantumisen ohessa monet muutkin tekijät saattavat vaarantaa rantojen käyttöä virkistystarkoituksiin. Niinpä jokivesien käytön entistä täydellisemmin tapahtuva säännöstely vaikuttaa merkittävästi ranta-alueisiin. Esimerkiksi Etelä-Kalifornian rantojen hiekka, joka alkujaan on tullut rannoille jokien tuomana, kulkeutuu aaltojen aiheuttamien rantavirtausten mukana pitkin rantoja ja häviää vähitellen merenalaisiin kuruihin. Jokien tuomat vedet on otettu entistä tarkemmin asutuksen, maanviljelyksen ja teollisuuden käyttöön, joten uuden hiekan saanti rannoille on pysähtynyt lähes kokonaan. Onkin syytä pelätä, että noin kahden vuosikymmenen kuluessa Etelä-Kalifornian rantahiekat turmeltuvat perusteellisesti.

Toisaalta Yhdysvaltain itärannikon monet alkujaan hienot hiekkarannat ovat tuhoutuneet sen johdosta, että joet ovat peittäneet ne maalta tulleella hienojakoisella lietteellä, ennen kaikkea orgaanisella liejulla. Myös merenkulkuväylien ruoppaus on joissakin tapauksissa aiheuttanut uintialueiden pilaantumisen, jos poistettu maa on sijoitettu epäedullisella tavalla.

Meressä luonnostaan tapahtuvat fysikaaliset, kemialliset, biologiset ja geologiset prosessit on otettava huomioon kehitettäessä uusia merenrantauimaloita, suunniteltaessa rantojen suojaamista sekä eroosiolta että uuden aineksen haitalliselta kerrostumiselta, pidennettäessä rantaviivaa keinotekoisin rakennelmin, rakennettaessa satamia pikkuveneille sekä parannettaessa virkistyskalastuksen mahdollisuuksia luomalla uusia keinotekoisia särkkiä. Mainittujen prosessien lisääntyvä ymmärtäminen saattaa olennaisesti vaikuttaa suunnitelmien toteuttamisen tehokkuuteen ja siten myös vähentää kustannuksia varsin tuntuvasti.

Erilaisten merellisten virkistysalueiden tehokkuutta ja turvallisuutta voidaan suuresti tehostaa, jos osataan riittävän tarkoin ennustaa tuulet, merenkäynti, tyrskyt ja tuulien aiheuttamat vuokset. Juuri nämä ovat muunkin meritieteellisen tutkimuksen kannalta keskeisiä tutkimusaiheita.

On vaikea rahassa arvioida sitä merkitystä, mikä riittävillä virkistysmahdollisuuksilla meren rannalla on ihmisille. On kuitenkin ilmeistä, että arvo on sitä suurempi, mitä tiheämmin asutusta maasta ja mitä lämpimämmästä ilmastosta on kysymys.

Sitäkin vaikeampaa olisi koettaa rahassa arvioida luonnonsuojelun puhtaasti esteettisiä arvoja, joiden korvaamattomuus tulee vuosien kuluessa yhä ilmeisemmäksi.

3.6. Ihminen muuttaa meriveden koostumusta

Ihmisen toimintojen seurauksena on aina tapahtunut muutoksia mantereilla, mutta vasta parin sadan viime vuoden ajan ihminen on saanut aikaan havaittavissa olevia muutoksia myös aavanmeren oloissa. Nämä muutokset todettiin ensimmäiseksi eräi-

den eläinten, ennen kaikkea eräiden valaslajien kannoissa, jotka pyydettiin loppuun pohjoiselta Atlantilta ja pohjoiselta Tyyneltä valtamereltä jo kauan sitten. Nykyisin ihminen, jota jo vanhastaan on voitu pitää ekologisena ympäristötekijänä, kohdistaa vaikutuksensa merien kemialliseen koostumukseen. Seuraavassa tarkastellaan ihmisen aikaansaamia muutoksia meriveden koostumuksessa ja näistä muutoksista mahdollisesti aiheutuvia ongelmia sekä myös mahdollisuuksia käyttää ihmisen mereen laske-mia saasteita meritieteellisten ongelmien tutkimiseen.

Viime vuosikymmenien aikana polttomoottoreissa käytettyyn bensiiniin naku-tuksenestoaineeksi lisätty lyijytetraetyyli on — yhdessä lyijyä sisältävien teollisuus-jätevesien kanssa — täydellisesti muuttanut lyijyn vertikaalisen jakautumisen pohjoi-sen pallonpuoliskon merien pintavesissä. Nykyisin käytetään autobensiinissä vuosit-tain noin $3,5 \times 10^{11}$ grammaa lyijyä, mistä suurin osa pohjoisella pallonpuoliskolla. Poltetun lyijyn määrä on vuodesta 1923 lähtien noussut melkein eksponentiaalisesti.

Suurin osa autojen pakoputkista tulevasta lyijystä joutuu ilmakehään aerosolina. Lyijyhiukkaset poistuvat ilmasta vesi- ja lumisateen mukana. Mutta tämä tapahtuu pääasiassa vasta sen jälkeen, kun ne ovat vyöhykkeillään jo ehtineet jakautua jokseen-kin tasaisesti merienkin ylle. Tästä johtuen noin kolme neljännestä lyijystä sataa suo-raan merenpinnalle, mistä se vain hitaasti laskeutuu meren syvempiin kerroksiin. Pohjoisen pallonpuoliskon merien noin 100 metrin paksuisen *pintakerroksen* veden lyijypitoisuus onkin nykyisin 5—10 kertaa niin suuri kuin 50 vuotta sitten.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta nykyisin suunnilleen 0,25 prosentilla vuodessa, mikä vastaa noin 0,7 miljoonasosaa ilmasta. Tämä määrä on noin puolet hiilidioksidin luonnonvaraisesta vuosituotannosta. Otak-sutaan, että suurin osa ylijäämästä imeytyy merien pintavesiin nimenomaan pohjoi-sella pallonpuoliskolla.

Jos meriin ilmestyvästä hiilidioksidista suurin osa jää pohjoisella pallonpuoliskolla 100 metrin paksuiseen peitekerrokseen, näiden vesien hiilidioksidipitoisuus kasvaa lähes 0,4 prosentilla vuodessa. Voidaan olettaa, että sitoutumattoman hiilidioksidin määrä kasvaa kenties 4 prosenttia vuodessa. Jos tämä hiilidioksidin liikämäärä ei tule käytetyksi kasviplanktonin yhteyttämiseen, pintavesien pH:n pitäisi alentua selvästi jo muutamien vuosien kuluessa. On selvää, että käyttämällä fossiilisia polttoaineita nykyistä vauhtia, jolloin 500 miljoonan vuoden aikana syntyneet varat kulutetaan loppuun muutamassa vuosisadassa, syntyy niin runsaasti hiilidioksidia, että seurauk-sena täytyy olla syvällisiä muutoksia merien oloissa.

Ydinräjäytyksissä syntyneet radioaktiiviset saasteet ovat levinneet lähes kaikkialle maailman meriin. Ydinreaktorien lähellä olevilta merialueilta löydetään radioaktiivisia saasteita.

Syntetettiset pesuaineet, joita jatkuvasti kulkeutuu jokivesien mukana meriin, ovat jo havaittavissa laajoilla merialueilla niiden voimakkaan fluoresenssin perusteella. Monet noista pesuaineista ovat tuskin lainkaan alttiita biologiselle hajoamiselle, joten niiden määrä merissä kasvaa alati.

On jossakin määrin kauhistuttavaa, että meriin on kulkeutunut selvästi havaittavat määrät myös nykyaikaisia kasvinsuojelumyrkkyjä: analyysit osoittavat tonnikalojen rasvakudoksissa helposti määritettävissä olevia kasvinsuojelumyrkkyjen ja näiden hajoamistulosten konsentraatioita. Toistaiseksi ei ole vielä osoitettu samoja kasvin-suojeluaineita itse merivedestä. On kuitenkin vaikea kuvitella, että myrkyt olisivat joutuneet jotakin tietä tonnikalan kudoksiin siten, että ne eivät olisi ensin olleet meri-vedessä.

Jos uusien kemikaalien kontrolloimaton joutuminen meriin jatkuu, jostakin vai-heesta alkaen mahdollisuudet merien luonnonvarojen nykyiseen käyttöön alkavat pienentyä. Tästä syystä onkin pidettävä sekä järkevänä että välttämättömänä, että merentutkijat ryhtyvät järjestelmällisesti valvomaan ja inventoimaan puheena olevien saasteiden joutumista meriin. Yleensäkin pitäisi pyrkiä siihen, että kemikaalien mer-keitsevänlaajuisesta luonnonvastaisesta joutumisesta meriin oltaisiin selvillä mahdolli-simman aikaisessa vaiheessa. Olisikin paikallaan ryhtyä suorittamaan laboratorio-kokeita mainitunlaisten saasteiden vaikutuksista merissä, eritoten niiden ja meri-elিöstön välisistä vuorovaikutuksista. Minkä lyijykonsentraation vaikutuksesta muut-tuu pintavesien kasvien suorittama orgaanisen aineen primäärituotanto luonteeltaan toisenlaiseksi? Miten kauan kasvinsuojelumyrkyt säilyvät merivedessä hajoamatto-mina? Millaiset ovat niiden hajoamistulokset? Minkälaista potentiaalista vaaraa ne merkitsevät meren eliöille? Onko mahdollista, että nuo kemikaalit voivat joutua ihmisen ravintoon vaarallisen suurina konsentraatioina?

Tällaisiin kysymyksiin voidaan useinkin helposti vastata tunnettujen analyttisten menetelmien avulla. Vaikka eräät mainituista kemikaaleista esiintyvätkin merissä ainakin toistaiseksi vain äärimmäisen alhaisina konsentraatioina, voidaan ne silti todeta tarkoin analyttisin menetelmin. Maalla elävillä eliöillä suoritettavat myrkky-vaikutuskokeet ovat helposti muunnettavissa meren biotaan soveltuviksi.

Niitä uusia kemikaaleja, joita ihminen päästää meriin, voidaan käyttää myös tie-teen hyödyksi, nimittäin pitämällä niitä geokemiallisina merkkiaineina. Merentutki-joiden työn kannalta on edullista, että eri kemikaalien lähtöalueet ja reitit meriin ovat erilaiset: hiilitetraetyylin hajoamistulokset, ydinräjäytysten radioaktiiviset saasteet ja eräät kasvinsuojelumyrkyt joutuvat meriin ilmakehän kautta, synteettiset pesuaineet, reaktorien radioaktiiviset lauhdevedet, eräät kasvinsuojeluaineet ja lannoitteet joutu-vat meriin jokivesien kuljettamina.

Näitä kemikaaleja on jo käytetty eräiden tärkeiden meritieteellisten ongelmien tutkimiseen. Ilmakehästä tullut radioaktiivinen laskeuma on antanut uutta tietoa merien vesimassojen sekoittumisesta. Lyijytetraetyylin laskeumasta on arvioitu, että lyijyatomit viipyvät merien pintakerroksessa — lämpötilan pysyvän harppauskerrok-sen yläpuolella — keskimäärin 5 vuotta, mikä tulos osoittaa pintavesien biologisen aktiivisuuden vaikutusta lyijyn esiintymiseen. On mielenkiintoista, että jokseenkin samaan tulokseen on päädytty myös radioaktiivisen laskeuman sisältämän lyijy-210:n avulla.

Columbia-joen suuren reaktorin laskemien radioaktiivisten saasteiden jakautumisesta suoritettut tutkimukset ovat osoittaneet, kuinka jokivesi leviää viuhkamaisesti Tyyneen valtameren. Synteettisiä pesuaineita ei ole vielä käytetty tällaisiin tarkasteluihin, mutta tulokset muodostuvat varmasti erittäin mielenkiintoisiksi, koska käytettävissä on erittäin herkät keinot määrittää orgaanisten molekyylien konsentraatiot fluoresenssin avulla.

Kalkkipitoisten ooliittien kasvunopeus Bahamasaarten matalikoilla on määritetty ydinräjäytyksistä laskeutuneiden strontium-90:n ja hiili-14:n avulla. »Radioaktiivisten kellojen» avulla on mahdollista selvittää merien sedimentaation nopeus. Myös synteettisten pesuaineiden ja lyijytetraetylin esiintymistä lietteissä voidaan käyttää samaan tarkoitukseen.

Mainituilla kemikaaleilla voitaisiin »merkitä» meren eliöitä, mikäli nämä varaavat niitä riittävästi itseensä siellä, missä kemikaalit joutuvat meriveteen. Näin olisi luultavasti mahdollista tutkia meren eliöiden vaelluksia mereen laskettujen saasteiden avulla.

Ne tutkimukset, joita on suoritettu radionuklidien levinneisyydestä merellisessä ympäristössä, ovat jo osoittaneet, että eri eliölajit rikastavat eri alkuaineita aivan eri tavoin. Onpa jopa menty niin pitkälle, että oletetaan jokaista alkuainetta kohti löytyvän merestä eliö, joka on erikoistunut nimenomaan juuri sen rikastamiseen merivedestä. Näiden eliöiden ja niiden suosimien alkuaineiden identifioiminen saattaa johtaa tärkeiden biokemiallisten prosessien uudenlaiseen ymmärtämiseen.

Osoittautuu siis, että ihminen jo nyt muuttaa meriveden koostumusta paljon enemmän, kuin mitä yleensä tullaan ajatelleeksi. Merentutkijoiden eräänä tärkeänä tehtävänä on seurata näiden muutostapahtumien kehittymistä. Samalla on pyrittävä tutkimuksin selvittämään, mitkä ovat näiden muutosten nykyiset ja tulevat seurausilmiöt. Tämänkin työn käytännöllinen ja taloudellinen merkitys osoittautuu jonakin päivänä arvaamattoman suureksi.

ENGLISH SUMMARY:

The Objects of Oceanography

This abbreviated and partly re-edited summary is based on the »General Scientific Framework for World Ocean Study«, prepared by the Scientific Committee on Oceanographic Research of the International Council of Scientific Unions, for the Intergovernmental Oceanographic Commission, under the Chairmanship of Professor Roger Revelle.

Merentutkimuslaitos

Lokero 14 166

Helsinki 14

Havsforskningsinstitutet

Fack 14 166

Helsingfors 14

Institute of Marine Research

Box 14 166

Helsinki 14, Finland